Universitat de Lleida
Escola Politècnica Superior
Enginyeria Tècnica Industrial, especialitat en Mecànica

Projecte final de carrera

Avantprojecte del disseny d'un banc d'assaigs de màquines i transmissions rotatives utilitzades en maquinaria agrícola

Autor: David Font Domínguez
Director: Joan Roca Enrich

Juliol de 2010

0. INDEX GENERAL

1. MEMÒRIA

Índex de la Memòria

Índex de figures de la memòria

Índex de taules

1.0. Full d'identificació.

Títol del projecte:

Disseny d'un banc d'assaig de màquines i transmissions rotatives utilitzades en maquinària agrícola.

Emplaçament:

El disseny del banc d'assaig es trobarà al Parc Científic i Tecnològic Agroalimentari de gardeny, en l'edifici H3 planta baixa s/n, Fundació MAQCENTRE, de la ciutat de Lleida.

Coordenades UTM:

UTM= 4609032 300994 31T

Ració social:

Fundació MAQCENTRE.

Autor del projecte:

David Font Domínguez

Director del projecte:

Dr. Joan Roca Enrich

Data del projecte:

Juliol 2010

1.1. Introducció

En el sector de l'agricultura existeix una gran varietat de maquinària especialitzada per la realització de diferents feines, com poden ser el treball del sol, preparació del terreny, maquinària agroforestal, tractors, etc.

Figura 1.1 Exemple de maquinària agrícola (Tractor i màquina accionada).

Aquesta maquinària incorpora a la seva vegada màquines rotatives com poden ser màquines per subministrar potència mecànica, per transmetre aquesta potència o per consumir-la.

Les màquines rotatives utilitzades en maquinària agrícola es poden dividir en 3 grans grups :

- Motors (Subministren potencia mecànica)
- Transmissions (Transmeten potencia mecànica)
- Maquines accionades (Elements que consumeixen potencia mecànica)

1.1.1. Motors

Màquina que transforma en energia mecànica una altra forma d'energia. Es poden classificar en diferents grups.

1.1.1.1. Motors de combustió interna

Un motor de combustió interna és una màquina capaç de transformar l'energia procedent de la combustió en energia mecànica al fer desplaçar linealment un èmbol dins d'un cilindre. Aquest èmbol o pistó està unit a un mecanisme biela – cigonyal que permet transformar el moviment lineal alternatiu en un moviment giratori. Es coneix com a punt mort inferior (PMI) al punt on el pistó està més pròxim al cigonyal. Per l'altra banda, el punt mort superior (PMS) és el punt on el pistó està més allunyat del cigonyal.

El procés exotèrmic de la combustió fa que els components del motor augmentin la seva temperatura, sent necessària la instal·lació d'un sistema de refrigeració per aigua o per lubricació per poder disminuir el seu fregament i el seu desgast.

1.1.1.1.1. Classificació

Es poden classificar segons el seu cicle de funcionament i el seu mètode d'encesa:

- Cicle de dos temps

Els motors de 2 temps realitzen el següent cicle

- 1er Temps/ Fase d'admissió i compressió: Aquesta fase es produeix en l'ascensió del pistó. Mentre que la part superior del pistó realitza la compressió en el cilindre, la part inferior succiona la mescla d'aire i combustible.
- 2on Temps / Fase d'explosió i escapament: Després de realitzar la primera fase, es produeix l'encesa de la mescla d'aire i combustible. La reacció de combustió produeix gasos d'escapament en expansió, els quals impulsen el pistó a realitzar la carrera descendent. En el mateix recorregut descendent del pistó, els gasos d'escapament són expulsats a través de la llumbrera d'escapament. També es produeix l'entrada de la mescla en la part superior del cilindre.

El mètode d'encesa més generalitzat del motors de dos temps és aquell que utilitza l'energia d'activació per una guspira per encendre la mescla. El combustible utilitzat en aquests motors es la gasolina.

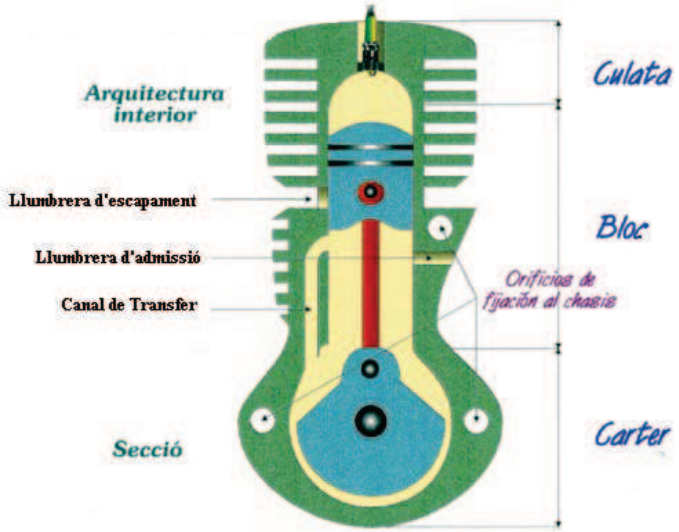


Figura 1.2. Motor de combustió de 2 temps.

Aquests tipus de motors s'utilitzen en maquinària agrícola petita, és a dir, multicultors de petites dimensions com el que s'observa en la Figura 1.3:

Figura 1.3. Multicultor.

- Cicle de quatre temps

Els motors de quatre temps realitzen el següent cicle

- 1er Temps / Fase d'admissió: Es produeix quan el descens del pistó produeix una aspiració d'aire dins del cilindre.
- 2on Temps / Fase de compressió: Una vegada que el pistó arriba al seu punt mort inferior comença la seva ascensió. La primera ascensió del cicle serveix per comprimir el gas o aire de dins del cilindre.
- 3 er Temps / Fase d'explosió: En aquesta fase és quan es produeix el fenomen de la combustió. Aquest fet produeix un augment de temperatura i expansió dels gasos en el cilindre, fent descendir el pistó en la seva tercera carrera. En aquesta fase és on es produeix el treball.
- 4rt Temps / Fase d'escapament: L'ultima fase correspon a l'escapament dels gasos de combustió. Aquests són expulsats fora del cilindre a través de la vàlvula d'escapament en la carrera ascendent del pistó.

En quant al mètode d'encesa, existeixen dos tipus de motors àmpliament utilitzats: els motors tipus Otto, els quals funcionen amb gasolina, i els motors tipus Diesel que funcionen amb gas-oil. Mentre que els motors Otto utilitzen una guspira per encendre la mescla de combustible – aire, els motors Diesel utilitzen l'alta temperatura de l'aire d'admissió al ser comprimit.

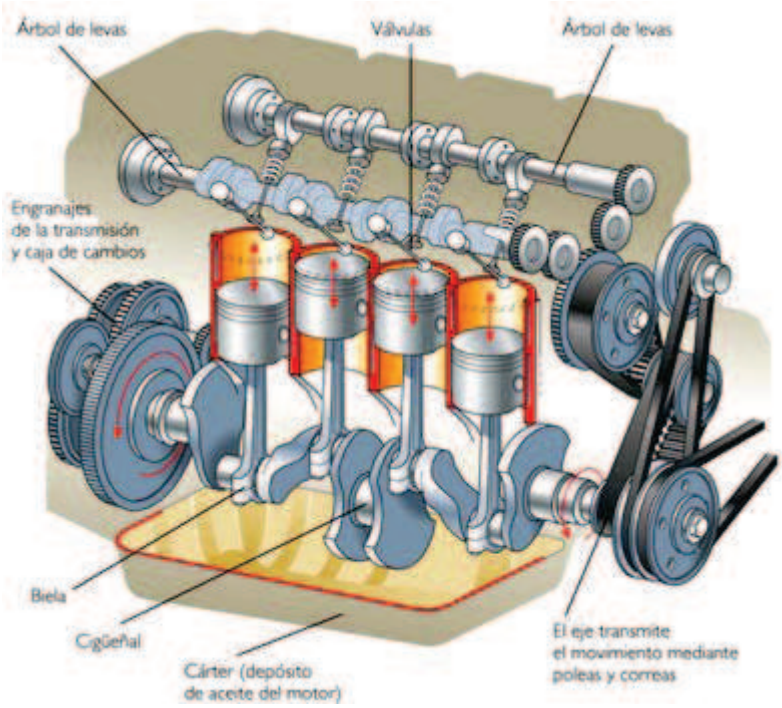


Figura 1.4. Motor de combustió de 4 temps.

Els motors de quatre temps Diesel son els motors de combustió interna més utilitzats en maquinària agrícola des de multicultors fins a tractors d'altes potencies. Aquest motors son utilitzats en maquinària agrícola, per dues raons, pel rendiment i per la seva gran capacitat de subministrar parell a baixes voltes, en comparació al motors amb cicle Otto (subministren el parell màxim de 1500 min^{-1} a 2300 min^{-1}).

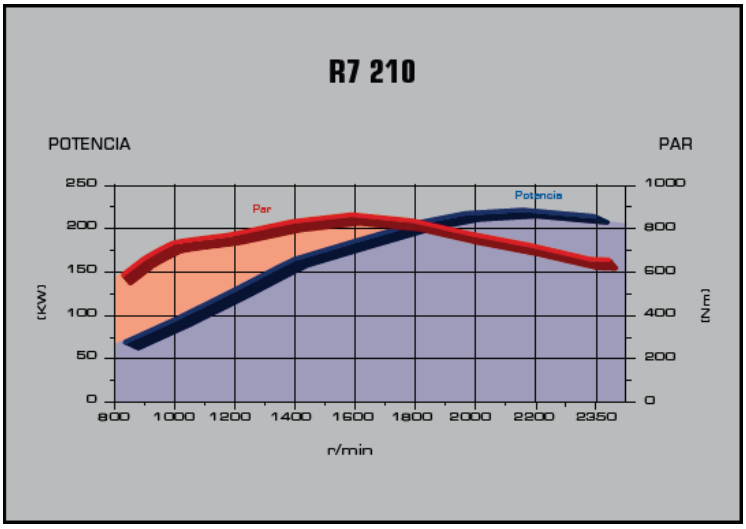


Figura 1.5. Gràfica de potencia i parell en funció del regim, d'un motor de combustió interna.

Però també hi ha certes aplicacions en maquinària agrícola que utilitzen motors de quatre temps de tipus Otto com son alguns multicultors, aquests motors tenen certs avantatges respecte als de dos temps. Els motors de quatre temps no consumeixen ni cremen oli. Els motors de quatre temps milloren el rendiment dels motors de dos temps. Això és degut a que la compressió en el cilindre en els motors de dos temps no és del tot efectiva fins que el pistó tanca les llumbreres de transferència. També cal destacar l'existència de pèrdues de mescla en la fase d'escapament.

1.1.1.2. Motors Hidràulics:

Els motors hidràulics son els elements destinats a transformar l'energia hidràulica en energia mecànica rotativa. Els motors funcionen de forma inversa a les bombes. En aquests, la pressió i el caudal obliguen a l'element impulsor a realitzar un moviment que se transforma en rotatiu. Es fan servir sobretot perquè lliuren un parell molt gran a velocitats de gir petites en comparació amb els de combustió interna.
Existeixen tants tipus de motors hidràulics com de bombes, i en alguns casos es poden utilitzar les bombes com a motors, (quan aquests giren en un sol sentit, o quan les bombes estan especialment dissenyades per aquest cas).

1.1.1.2.1. Classificació

Es poden classificar segons la seva forma constructiva. Els tipus de motors hidràulics més utilitzats son:

- Motors d'engranatges

Són de mida reduïda i poden girar en els dos sentits, però el parell és petit, són sorollosos, poden treballar a altes velocitats, però el seu rendiment cau a baixes velocitats.

Figura 1.6. Motors d'engranatges.

- Motors gerotor

Aquest tipus de motors d'engranatges interns consisteix en un parell d'engranatges que sempre estan en contacte. El rotor intern (motriu) arrossega el rotor extern, que a la seva vegada te una dent més, i els dos giren en la mateixa direcció.

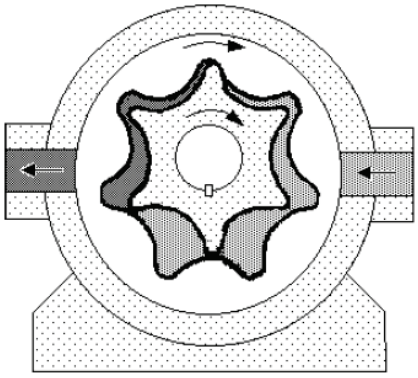


Figura 1.7. Motor gerotor.

- Motors de paletes

Tenen la mateixa estructura que les bombes de paletes, però el moviment radial de les paletes te que ser forçat, mentre que en les bombes es deu a la força centrifuga.

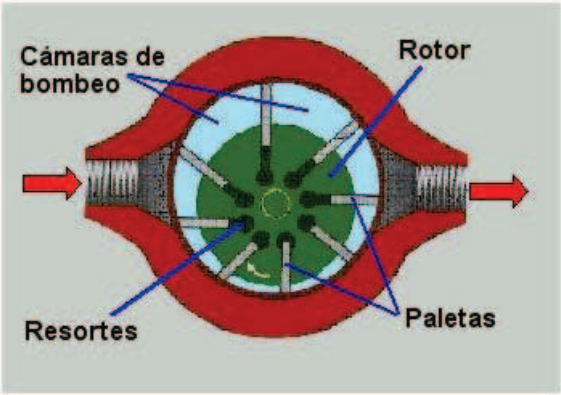


Figura 1.8. Motor de paletes.

- Motors de pistons

Són els més utilitzats de tots, ja que aconsegueixen les grans potències treballant a altes pressions. En funció de la posició dels pistons amb respecte a l'eix podem trobar:

- Motors de pistons axials

Els pistons van disposats en la direcció de l'eix del motor. El líquid entra per la base del pistó i l'obliga desplaçar-se cap a fora. Com el cap del pistó té forma de corró i recolza sobre una superfície inclinada, la força que exerceix sobre ella es descompon segons la direcció normal i segons la direcció tangencial a la superfície. Aquesta última component l'obligarà a girar, i amb ella solidàriament, l'eix sobre la qual va muntada. Variant la inclinació de la placa o basculant entre l'eix d'entrada i el de sortida, es pot variar la cilindrada i amb ella el parell i la potència.

Figura 1.9. Motor de pistons axials.

- Motor de pistons radials

Els pistons van disposats perpendicularment a l'eix del motor. El principi de funcionament és anàleg al dels axials però aquí el parell s'aconsegueix a causa de l'excentricitat, que fa que la component transversal de la força que el pistó exerceix sobre la carcassa sigui diferent en dues posicions diametralment oposades, donant lloc a una resultant no nul que origina el parell de gir.

Figura 1.10. Motor de pistons radials.

- Motors lliscants

A mes dels motors d'engranatges, paletes i pistons (iguals que les bombes) existeixen els motors lliscants, el funcionament dels quals recorda al de un motor de paletes però amb una sola paleta .

El funcionament del motor es bastant senzill:

El caudal entra per la zona fosca, i obliga a l'eix es desplaçar-se en el sentit de la fletxa.

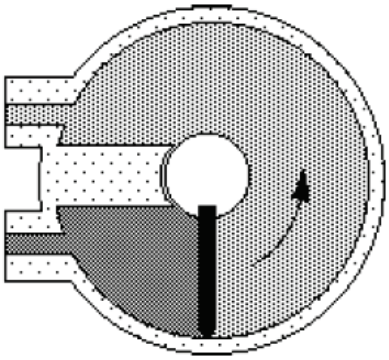


Figura 1.11. Motor Lliscant.

Les característiques dels motors hidràulics s'observen per mitjà de gràfiques com la següent:

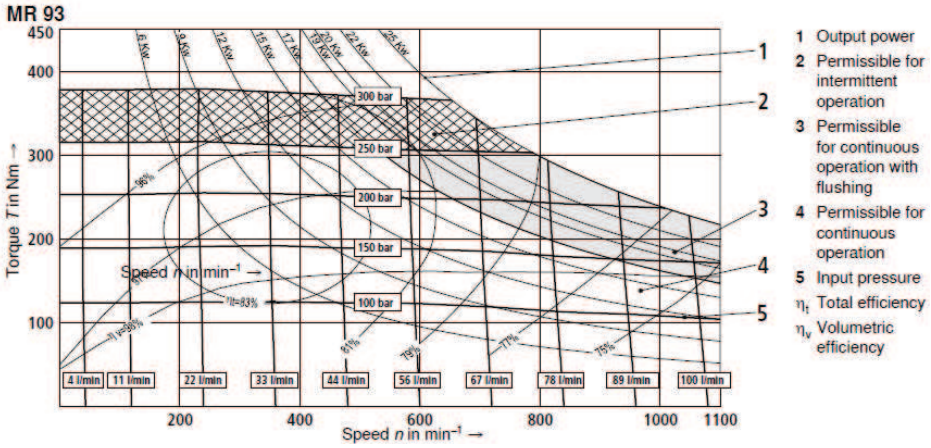


Figura 1.12. Gràfica de prestacions d'un motor hidràulic.

1.1.1.3. Motors Elèctrics

Els motors elèctrics són màquines elèctriques rotatòries que transformen l'energia elèctrica en energia mecànica. Això s'aconsegueix mitjançant la rotació d'un camp magnètic al voltant d'una espira o bobinat que pren diferents formes.

En passar el corrent elèctric per la bobina, aquesta es comporta com un imant. Els pols es rebutgen o atreuen amb l'imant que es troba en la part inferior, en donar mitja volta el pas de corrent s'interromp i la bobina deixa de comportar-se com imant però per inèrcia es segueix movent fins que dóna una altra mitja volta i el corrent passa novament repetint el cicle fent que el motor giri constantment.

Els motors elèctrics satisfan una àmplia gamma de necessitats de servei, com poden ser arrencar, accelerar, moure, o frenar, fins a sostenir i aturar una càrrega. Aquests motors es fabriquen en potències que varien des d'una petita fracció de cavall fins a diversos milers, i amb una àmplia varietat de velocitats, que poden ser fixes, ajustables o variables.

En diverses circumstàncies presenta molts avantatges respecte als motors de combustió. Té un parell de gir elevat i, segons el tipus de motor, pràcticament constant. Un motor elèctric conté un nombre molt més petit de peces mecàniques que un motor de combustió interna, per la qual cosa és menys propens a avaries. Els motors elèctrics són

els més àgils de tots pel que fa a variació de potència i poden passar instantàniament des de la posició de repòs, a la de funcionament al màxim. El seu rendiment és molt elevat (típicament al voltant del 80%, augmentant el mateix a mesura que s'incrementa la potència de la màquina). La gran majoria dels motors elèctrics són màquines reversibles podent operar com a generadors, convertint energia mecànica en elèctrica.

1.1.1.3.1. Parts del motor elèctric

Un motor elèctric es compon de les següents parts:

- La **carcassa** o caixa que envolta les parts elèctriques del motor, és la part externa.
- **L'inductor**, anomenat estator quan es tracta de motors de corrent altern, consta d'un apilat de xapes magnètiques i sobre elles està enrotllat el bobinatge estatòric, que és una part fixa i unida a la carcassa.
- **L'induït**, anomenat rotor quan es tracta de motors de corrent altern, consta d'un apilat de xapes magnètiques i sobre elles està enrotllat el bobinatge rotòric, que constitueix la part mòbil del motor i resulta ser la sortida o eix del motor.

Aquestes parts es poden veure en l'esquema de la figura 1.13:

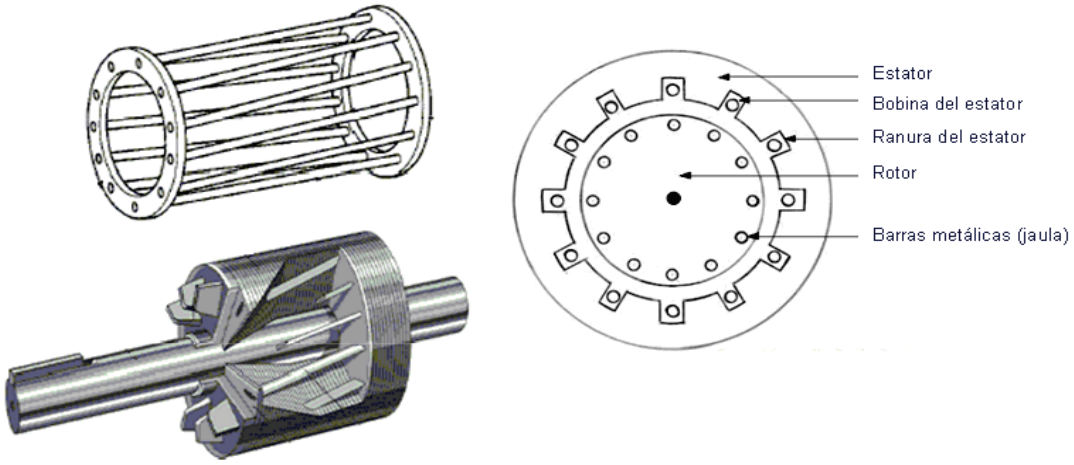


Figura 1.13. Esquema d'un motor de gàbia d'esquirol.

1.1.1.3.2. Classificació.

Pel que fa als tipus de motors elèctrics es poden classificar de la següent manera.

- Motors de corrent altern, es fan servir molt en la indústria, sobretot, el motor trifàsic asíncron de gàbia d'esquirol.
- Motors de corrent continu, és solen utilitzar quan es necessita precisió en la velocitat, muntacàrregues, locomoció, etc.
- Motors universals. Són els que poden funcionar amb corrent alterna o contínua, es fan servir molt en electrodomèstics. Són els motors amb col lector.

Però encara es pot fer una classificació més completa. Com es pot observar:

1.1.1.3.3. Motor de corrent altern.

Podem classificar de diverses maneres, per la seva velocitat de gir, pel tipus de rotor i pel nombre de fases d'alimentació.

- Per la seva velocitat de gir.
  - Asíncrons. Un motor es considera asíncron quan la velocitat del camp magnètic generat pel estator supera la velocitat de gir del rotor.
    Els motors asíncrons es poden subdividir:
    - Motors de gàbia d'esquirol.
    - Motors d'anells fregants.
  - Síncrons. Un motor es considera síncron quan la velocitat del camp magnètic del estator és igual a la velocitat de gir del rotor. El rotor és la part mòbil del motor. Dins dels motors síncrons, ens trobem amb una subclassificació:
    - Motors síncrons trifàsics.
    - Motors asíncrons sincronitzats.
    - Motors amb un rotor d'imants permanents.

- Pel seu nombre de fases d'alimentació.
    - Motors monofàsics.
    - Motors trifàsics.

1.1.1.3.4. Motor de corrent continu.

La classificació d'aquest tipus de motors es realitza en funció dels bobinats de l'inductor i de l'induït:

- Motors d'excitació en sèrie.
- Motors d'excitació en paral·lel.
- Motors d'excitació composta.
- Motors d'excitació independent.

Els motors elèctrics s'utilitzen en maquinària agrícola, per màquines que normalment han de treballar en el mateix lloc (màquines estàtiques) ja que han de tindre a l'abast la xarxa elèctrica.

1.1.2. Transmissions

Es denomina transmissió mecànica, a un mecanisme encarregat de transmetre potència entre dos o més elements dins d'una màquina.

En la gran majoria dels casos, aquestes transmissions es realitzen a través d'elements rotatius, ja que la transmissió d'energia per rotació ocupa molt menys espai que aquella per translació.

Una transmissió mecànica, és una forma d'intercanviar energia mecànica diferent de les transmissions pneumàtiques o hidràuliques, ja que per exercir la seva funció utilitza el moviment de cossos sòlids, com ho són els engranatges, les corretges de transmissió i les cadenes.

1.1.2.1. Engranatges

Es denomina engranatge o rodes dentades al mecanisme utilitzat per transmetre potència d'un component a un altre dins d'una màquina. Els engranatges estan formats per dues rodes dentades, de les quals la més gran s'anomena corona i la menor pinyó. Un engranatge serveix per transmetre moviment circular mitjançant contacte de rodes dentades. Una de les aplicacions més importants dels engranatges, és la transmissió del moviment des de l'eix d'una font d'energia, com pot ser un motor de combustió interna o un motor elèctric, fins a un altre eix situat a certa distància i que ha de realitzar un treball. De manera que una de les rodes està connectada per la font d'energia i és conegut com roda conductora i l'altra està connectada a l'eix que ha de rebre el moviment de l'eix motor i que es denomina roda conduïda. Si el sistema està compost de més d'un parell de rodes dentades, s'anomena tren d'engranatges.

Les parts d'una roda dentada son les següents:

- Corona: Part on s'insereixen els dents.
- Cub: Part per on es fixa a l'eix.
- Braç: Radis que uneixen la corona i el cub.

El principal avantatge que tenen les transmissions per engranatges és que no es produeixen lliscaments en la transmissió del moviment, de manera que s'obté exactitud en la relació de transmissió.

1.1.2.1.1. Classificació d'engranatges

La principal classificació dels engranatges s'efectua segons la disposició dels seus eixos de rotació i segons els tipus de dentat. Segons aquests criteris hi ha els següents tipus d'engranatges:

- Eixos paral·lels
  - Cilíndrics de dents rectes

    Els engranatges cilíndrics rectes són el tipus d'engranatge més simple i corrent que existeix. S'utilitzen generalment per a velocitats petites i mitjanes, a grans

velocitats, si no són rectificats, o ha estat corregit el seu tallat, produeixen soroll el nivell depèn de la velocitat de gir que tinguin.

- Cilíndrics de dents helicoïdals

Els engranatges cilíndrics de dentat helicoïdal estan caracteritzats pel seu dentat oblic en relació a l'eix de rotació. En aquests engranatges el moviment es transmet de manera igual que en els cilíndrics de dentat recte, però amb majors avantatges. Els eixos dels engranatges helicoïdals, poden ser paral·lels o creuats, generalment a 90 º. Per eliminar l'empenta axial, el dentat pot fer-se doble helicoïdal.

Els engranatges helicoïdals tenen l'avantatge que transmeten més potència que els rectes, i també poden transmetre més velocitat, són més silenciosos i més duradors, a més, poden transmetre el moviment d'eixos que es tallin. Dels seus inconvenients, es pot dir que es desgasten més que els rectes, són més cars de fabricar i necessiten generalment més greixatge que els rectes .

El més característic d'un engranatge cilíndric helicoïdal és l'hèlix que forma, sent considerada l'hèlix com l'avanç d'una volta completa del diàmetre primitiu de l'engranatge. D'aquesta hèlix deriva l'angleβ que forma el dentat amb l'eix axial. Aquest angle ha de ser igual per a les dues rodes que engranen però d'orientació contrària, és a dir: un a dretes i l'altre a esquerres. El seu valor s'estableix a priori d'acord amb la velocitat que tingui la transmissió.

Figura 1.14. Engranatge de dents helicoïdals.

- Doble helicoïdals

Aquest tipus d'engranatges van ser inventats pel fabricant d'automòbils francès André Citroën, i l'objectiu que aconsegueixen, és eliminar l'empenta axial que tenen els engranatges helicoïdals simples. Les dents dels dos engranatges formen una mena de V.

Els engranatges dobles són una combinació d'hèlix dreta i esquerra. L'empenta axial que absorbeixen els suports o coixinets dels engranatges helicoïdals és un desavantatge d'ells i aquesta s'elimina per la reacció de l'empenta igual i oposat d'una branca simètrica d'un engranatge helicoïdal doble.

Un engranatge de doble hèlix pateix únicament la meitat de l'error de lliscament que el d'una sola hèlix o de l'engranatge recte. L'angle de l'hèlix és generalment més gran per als helicoïdals dobles, ja que no hi ha empenta axial.

- Eixos perpendiculars
  - Helicoïdals creuats

Son els engranatges cilíndrics de dents helicoïdals però creuats normalment a 90º.

- Cònics de dents rectes

Efectuen la transmissió de moviment d'eixos que es tallen en un mateix pla, generalment en angle recte, per mitjà de superfícies còniques dentades. Les dents convergeixen en el punt d'intersecció dels eixos. Són utilitzats per efectuar reducció de velocitat amb eixos a 90°. Aquests engranatges generen més soroll que els engranatges cònics helicoïdals. S'utilitzen en transmissions antigues i lentes. En l'actualitat es fan servir molt poc.

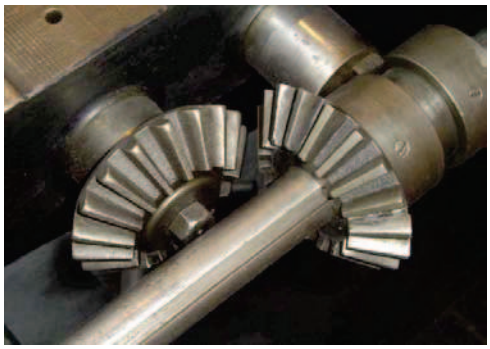


Figura 1.15. Engranatge cònic de dents rectes.

- Cònics de dents helicoïdals

S'utilitzen per reduir la velocitat en un eix de 90 °. La diferència amb el cònic recte és que té una major superfície de contacte. És d'un funcionament relativament silenciós. A més poden transmetre el moviment d'eixos que es tallin.

- Cònics hipoide

Un engranatge hipoide és un grup d'engranatges cònics helicoïdals formats per un pinyó reductor de pocs dents i una roda de molts dents, transmeten el moviment entre eixos que es creuen. Per altra banda la disposició helicoïdal del dentat permet un major contacte de les dents del pinyó amb els de la corona, obtenint major robustes a la transmissió.

- Roda i cargol sense fi

És un mecanisme dissenyat per transmetre grans esforços, i com a reductors de velocitat augmentant la potència de transmissió. Generalment treballen en eixos que es creuen a 90 º.

Té el desavantatge de no ser reversible el sentit de gir, sobretot en grans relacions de transmissió i de consumir en fregament una part important de la potència. En les construccions de més qualitat la corona està fabricada de bronze i el cargol sense fi, d'acer temprat per tal de reduir el fregament. Si aquest mecanisme transmet grans esforços, cal que estigui molt ben lubricat per reduir el desgast per fricció.

Figura 1.16. Roda i cargol sense fi.

1.1.2.2. Cadenes

El mecanisme pinyó cadena és un mètode de transmissió molt utilitzat perquè permet transmetre un moviment giratori entre dos eixos paral·lels, que estiguin bastant separats. També es fa servir en substitució dels reductors de velocitat per politges quan l'important és evitar el lliscament entre la roda conductora i el mecanisme de transmissió.

El mecanisme consta d'una cadena tancada, les baules engranen amb rodes dentades (pinyons) que estan unides als eixos dels mecanismes conductor i conduït.

Les cadenes emprades en aquesta transmissió solen tenir llibertat de moviment només en una direcció i han de engranar de manera molt precisa amb les dents dels pinyons. Les parts bàsiques de les cadenes són: placa lateral, rodet i passador. Les rodes dentades solen ser una placa d'acer sense cub, tenen la corona dentada amb el perfil adequat per a les cadenes amb les que han d'engranar. El perfil de les dents es lleugerament inferior a l'amplada de la cadena.

Hi ha diversos tipus de cadenes, d'entre els quals cal destacar:

- Cadena de gall
- Cadena de rotllanes
- Cadena dentada

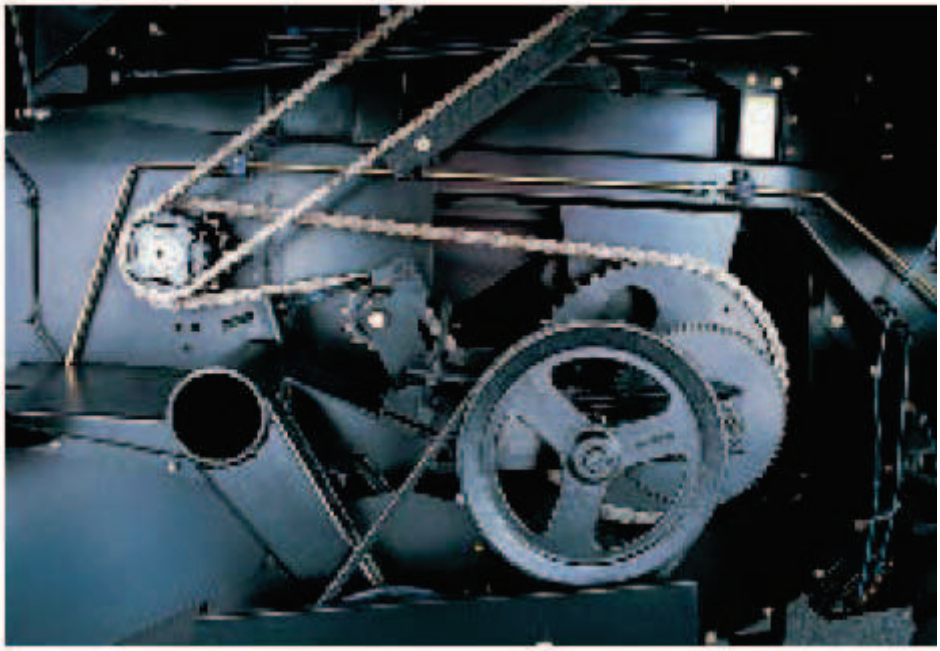


Figura 1.17. Transmissió per cadenes.

1.1.2.3. Transmissions per corretges

Mecanismes de corretges i politges s'encarreguen de transmetre la rotació entre dos arbres de transmissió (siguin paral·lels o no) mitjançant la força de fregament generada entre la politja i la corretja (excepte corretges dentades on es fa per empenta).

Aquests mecanismes consten de dues politges, que pivoten sobre els corresponents coixinets del bastidor i estan unides mitjançant el membre flexible o corretja.

Els mecanismes de corretges s'utilitzen per transmetre el moviment entre dos arbres de transmissió quan la distancia sigui excessiva per a utilitzar rodes dentades o es desitgi una certa flexibilitat en la connexió, o es desitgi variar la velocitat entre 2 arbres de transmissió de forma continuada.

1.1.2.3.1. Classificació.

Els tipus de corretges es poden classificar de diverses formes. Com es pot observar a continuació:

Segons el membre flexible:

- Politges i corretges planes
- Politges trapezoïdals
- Politges i corretges planes dentades

Segons la posició dels eixos:

- Eixos paral·lels
- Eixos no paral·lels

Variadors de velocitat :

- Intermitents
- Continus

1.1.2.4. Juntes de transmissió

Una junta de transmissió és un mecanisme que permet transmetre el moviment de rotació entre 2 eixos concurrents.

Les juntes de transmissions mes conegudes son:

- Junta cardan
- Junta homocinètica

1.1.2.4.1. Junta cardan

Una junta cardan permet transmetre un moviment de rotació entre dos eixos concurrents. Si l'arbre d'entrada gira a velocitat constant, la velocitat de l'arbre de sortida està subjecta a una variació periòdica, tant més sensible quan l'angle que formen els eixos de rotació és més gran. S'usa per transmetre potència. Treballar amb angles reduïts i iguals

α1 = α2. L'angle dels nusos poden ser molt amplis durant els girs de la màquina però no han de superar els 45 º fins i tot quan són iguals.

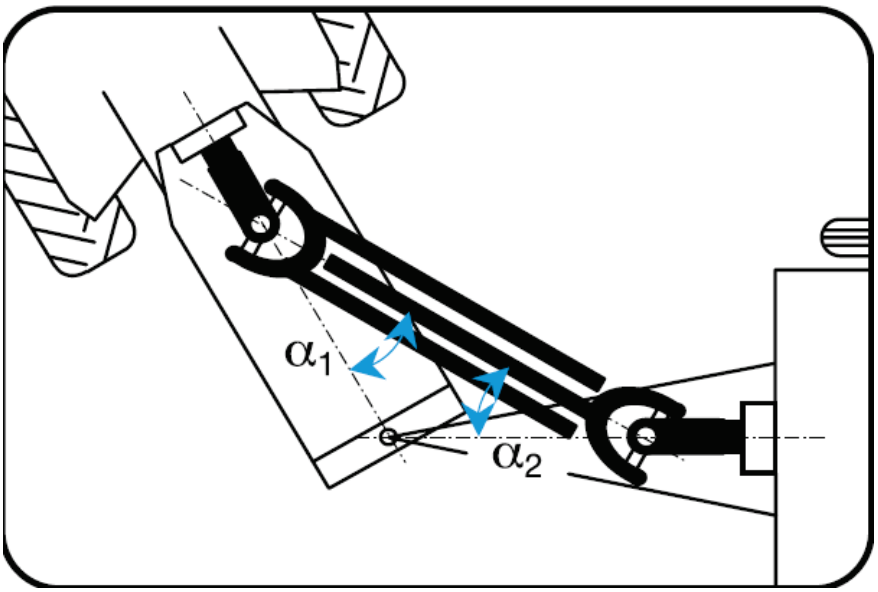


Figura 1.18. Arbre de transmissió amb juntes cardan.

La primera aplicació de la junta cardan va passar a la Xina fa més de 2000 anys. Els xinesos van inventar el que nosaltres anomenem "gimbals", una sèrie de cercles interconnectats formant un dispositiu que va permetre que una espelma col·locada al centre romangués dreta independentment de la posició del dispositiu. Avui els cèrcols interconnectats gimbals són utilitzats per mantenir anivellada la brúixola dels vaixells i com a component dels giroscopis.

En 1545, el matemàtic italià Girolamo Cardano va teoritzar que el principi dels gimbals podria ser usat per a transmetre un moviment de rotació a través d'una connexió en angle. Una mica de crèdit va guanyar Cardano amb l'invent de la junta universal, però no va ser fins al següent segle quan es va construir l'actual junta universal.

El científic anglès Robert Hooke va ser el primer a posar la junta universal en pràctica. El 1676 va construir una "junta universal" per manipular els miralls del seu invent solar astronòmic, l'helioscopi. Les juntes universals són anomenades encara "junta cardan" o "juntes de Hooke" i s'ha fet des de llavors una part essencial de la transmissió de potencia en maquinaria rotativa.

1.1.2.4.2. Junta homocinètica

És un nus que té la característica de transmetre el moviment amb relació de transmissió unitària, independentment de l'angle d'articulació. La transmissió a cardan amb 2 nusos homocinètics no genera mai irregularitats de rotació.

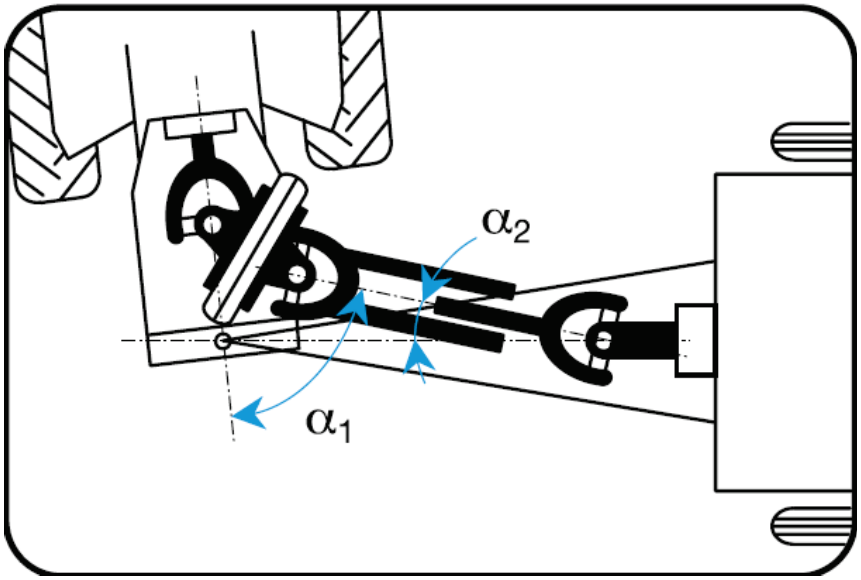


Figura 1.19. Arbre de transmissió amb una junta homocinètica i una junta cardan.

El nus homocinètic pot treballar amb angles amplis (50º o 80º segons el tipus) per breus períodes (per exemple durant el gir del tractor) sense generar variacions de velocitat.

Quan la transmissió incorpora un nus homocinètic al costat tractor i un nus a cardan simple al costat de la màquina, es recomana no superar angles de treball continuats, del costat del nus a cardan simple, angles no superiors a 16 º a 540 min^{-1} i de 9 ° a 1000 min^{-1} per evitar vibracions en la transmissió.

Els tipus de juntes homocinètiques són:

Junta homocinètica Glaencer-Spicer

Consisteix en dues juntes cardan unides per una peça de doble forquilla, de manera que el gir alterat per una d'elles és rectificat per l'altra, transmetent així un moviment uniforme. Aquesta junta es pot dir que es compon de dues juntes cardan simples que s'acoblen entre si mitjançant un arbre molt curt.

Figura 1.20. Junta homocinètica Glaencer-Spicer.

Junta homocinètica Rzeppa

La junta del tipus Rzeppa o més coneguda per "junta homocinètica de boles" és la més utilitzada avui en dia en el sector de l'automoció. Treballa perfectament sota condicions amb grans angles de treball.

Aquesta junta, a causa de la seva complexitat constructiva no s'ha imposat la seva utilització fins no fa molts anys.

La junta Rzeppa consta de sis boles que s'allotgen en una gàbia especial o caixa de boles. Al seu torn, les boles són solidàries a l'arbre conductor i al conduït; aquest acoblament es produeix pel fet que les boles també s'allotgen en uns seients tòrics, que estan espaiats uniformement al llarg de dues peces interior i exterior. La peça exterior, en forma de campana, aquesta unida a l'arbre conduït, al costat roda. La peça interior és el nucli de l'eix conductor.

La disposició de les boles i les gorges fa que siguin dues boles les que transmeten el parell, mentre que les altres quatre asseguren el pla bisector. Després d'una petita rotació,

dues boles són les que passen a transmetre el parell, mentre que les dues boles que acaben de treballar passen al costat bisector.

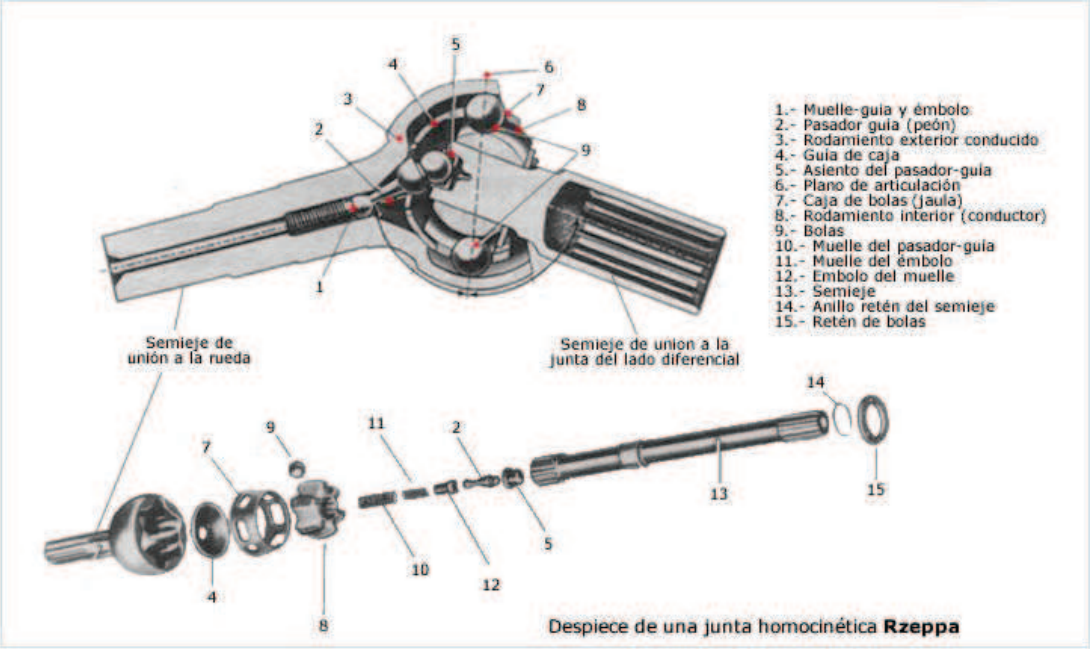


Figura 1.21. Junta homocinètica Rzeppa.

Altres juntes homocinètiques menys utilitzades o ja en desús són:

<u>Junta homocinètica Tracta</u>

Desenvolupada en els anys 20 del segle passat, es tracta d'una junta senzilla i relativament fàcil de fabricar. Els arbres d'entrada / incorporen unes forquilles que s'acoblen a dues peces centrals, que fan l'efecte de l'arbre intermedi de les juntes. L'angle a què pot treballar aquesta junta són importants, no obstant això, quan arriben a valors de l'ordre de 45 º no permeten la transmissió de parells d'elevat valor. L'angularitat que permet la junta ve limitada per la geometria i la resistència, en aquestes condicions sorgeixen moviments relatius entre les peces que donen lloc a fregaments intensos que produeixen increments de temperatura.

Figura 1.22. Junta homocinètica Tracta.

Junta homocinètica Bendix-Weiss

Aquesta junta com la Rzeppa utilitza boles que proporcionen els punts de contacte propulsors, en aquesta no hi ha gàbia que controli les boles, que estan perfectament ajustades a les seves pistes entre les dues meitats de l'acoblament. Les quatre boles lliscants són fixades per una bola interior trepada que gira sobre un passador allotjat al semieix exterior. El plànol dels punts de contacte es manté en la bisectriu de l'angle dels dos semieixos, però la posició de les boles s'aconsegueix pel "frec del rodament" entre les quatre boles i les seves pistes.

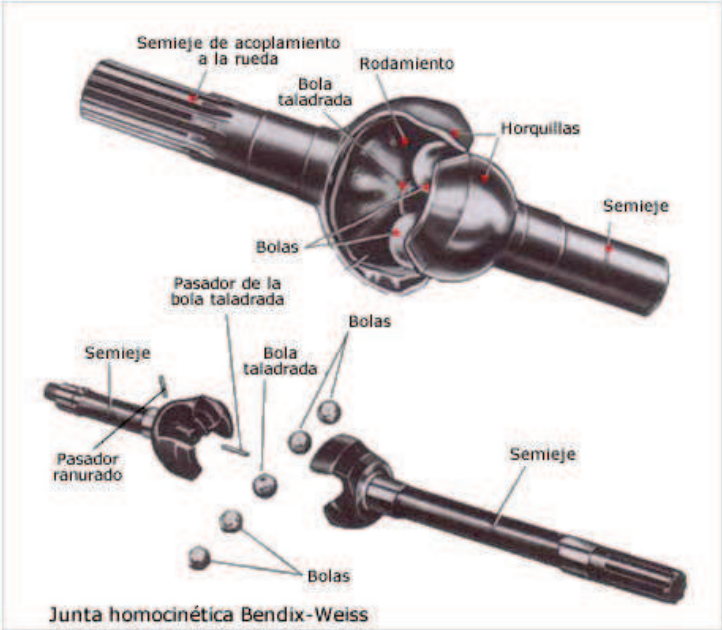


Figura 1.23. Junta homocinètica Bendix – Weiss.

1.1.2.5. Embragatges

És un dispositiu la missió del qual, es transmetre potencia des d'un eix d'entrada a un altre de sortida de forma intermitent.

Hi ha diferents tipus d'embragatges segons el seu sistema de funcionament:

- Mecànics:
  - de contacte positiu (dentats)
  - de fricció (discs, cònics, centrífug)
- Elèctrics
- Hidràulics

Els embragatges utilitzats en maquinària agrícola, son principalment els embragatges de fricció.

1.1.2.5.1. Classificació

Els embragatges de fricció es poden classificar de la següent manera.

Embragatge de disc.

Es un embragatge de fricció que també es fabrica en forma de tambor, tot i que el de disc te l'avantatge de que pot utilitzar múltiples discs per augmentar la capacitat d'impulsió.

Figura 1.24. Embragatge de discs.

Embragatge de con.

Amb aquest tipus d'embragatges es poden transmetre parells de torsió superior als del embragatges plans perquè tenen una superfície de contacte més gran i l'acció de la cunya ajuda a la transmissió. S'utilitza per velocitats perifèriques baixes.

Embragatge Centrífug.

És un tipus d'embragatge autoseparable per velocitat. Te un determinat nombre de sabates que es poden desplaçar radialment contra un tambor d'arrossegament quan la velocitat de l'eix motriu s'incrementa. Una molla enrotllada al voltant d'aquestes sabates, regula la velocitat d'accionament. Quan l'eix arriba a aquesta velocitat, les sabates es desplacen radialment, s'acoblen a la cara interior del tambor i comencen a arrossegar-lo i amb ell, la politja que hi ha acoblada. Gràcies a la fricció es transmetrà la potencia prevista a la velocitat de funcionament.

1.1.2.6. Limitadors de parell

Les màquines agrícoles es dissenyen per aconseguir una durada calculada en funció d'un cicle de càrrega que depèn del treball realitzat.

Les càrregues de treball normals poden ser superades però per bloquejos accidentals o condicions anòmales d' ús.

Aquestes sobrecàrregues poden conduir a la màquina a absorbir tota la potència disponible del tractor que, generalment, no es selecciona en funció de la màquina que gairebé sempre és més potent que aquesta. Per tant, els embussos o bloquejos accidentals de la màquina poden generar pics de parell extremadament elevats que poden danyar la transmissió i els components de la màquina. La protecció de les sobrecàrregues s'obté dotant a la transmissió o la màquina de dispositius que evitin avaries i danys a la transmissió i a la màquina, i permetin un dimensionament racional dels components.

Alguns dels tipus de limitadors de parell:

1.1.2.6.1. Els limitadors de parell per pestells.

Aquests interrompen la transmissió de potència quan el parell transmès supera el valor de tara preestablerta recuperant automàticament una vegada que s'elimina la causa que ha provocat la sobrecàrrega. Normalment s'utilitzen per a protegir de sobrecàrregues les màquines agrícoles amb un diagrama de parell constant o altern amb possibilitat de sobrecàrregues o bloquejos. La tara varia normalment entre 2 i 3 vegades el parell mig transmès.

Quan el limitador actua, cal aturar immediatament la presa de força del tractor per evitar desgasts innecessaris. Es recomana utilitzar limitadors a pestells per a transmissions amb rotació no superior a 700 min^{-1}.

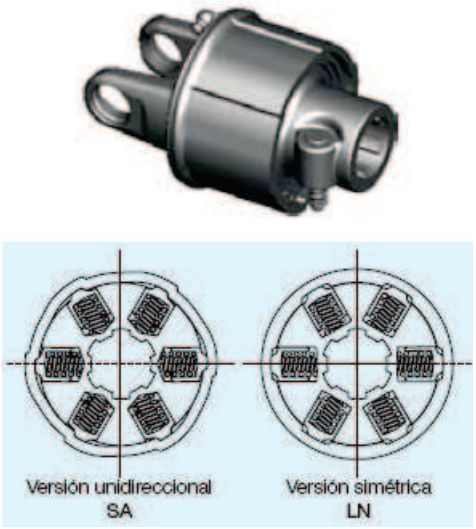


Figura 1.25. Limitador de parell per pestells.

1.1.2.6.2. El limitador de parell per cargol.

Interromp la transmissió de potència quan el parell transmès supera el valor de tara assignat. La interrupció es produeix per la ruptura del cargol que s'ha de substituir per restablir la transmissió de potència i la tara.

El parell de tara del limitador a cargol varia normalment de 2 a 3 vegades el parell mitjà i no ha de superar el parell màxim de la transmissió.

Figura 1.26. Limitador de parell per cargol.

1.1.2.6.3. El limitador de parell automàtic

Interromp la transmissió de potència quan es produeix un pic de parell superior al de la tara establerta. Durant la intervenció del limitador, la transmissió de potència s'interromp però reprèn automàticament accionant la transmissió a baixa velocitat després d'haver eliminat el bloqueig. El limitador de parell automàtic es recomana per a

màquines sotmeses a sobrecàrregues o bloquejos accidentals com per exemple rotocultivadors, empacadores, mescladores de farratges, etc.

El parell de tara és normalment 2/3 vegades el parell mitjà . Els embragatges per discos de fricció es fan servir per limitar el parell transmès en cas de sobrecàrrega. Quan intervé, la fricció transmet el parell de lliscament relatiu dels discs de fricció, per la qual cosa s'utilitza tant per limitar eventuals sobrecàrregues com per limitar pics de parell generats a la fase d'arrencada de la màquina dotada de volant o rotor i per tant amb notable inèrcia. A les màquines agrícoles amb important inèrcia, l'embragatge per discos de fricció normalment s'utilitza en combinació amb una roda lliure que elimina els pics de parell negatius en fase de desacceleració. La tara dels embragatges per discs de fricció és aproximadament dues vegades el parell mitjà de treball.

Figura 1.27. Limitador de parell automàtic.

1.1.3. Màquines accionades

La maquinària del sector de l'agricultura ha tingut una gran evolució en les darreres dècades, ja que cada vegada es tendeix més a l'automatització de la majoria de les tasques. Per això és tan important, optimitzar i desenvolupar màquines accionades, pel tractor, ja siguin màquines de tipus tir, mitjançant la connexió del tres punts, màquines accionades per mitjà de la PTO, o màquines combinades, accionades mitjançant la PTO i la connexió dels tres punts.

També s'han de contemplar els consumidors en les màquines autopropulsades, com poden ser les rodes motrius dels tractors, que son elements que consumeixen potencia mecànica per poder-se moure.

Dintre d'aquests grups, les màquines que adquireixen una major importància en aquest projecte, son les accionades per mitja de la presa de força, ja siguin màquines combinades o no.

Hi ha màquines de molt variades formes que serveixen per a treballs diferents, com per exemple màquines pel treball del sol:

- Picadores
- Fresadores
- Sembradores
- Abonadores
- Rastrells filedadors
- Etc.

Figura 1.28. Màquines agrícoles accionades.

També hi ha altres tipus de màquines accionades, com son:

- Maquinària agroforestal
- Maquinària per fitosanitaris
- Maquinària per la recol·lecció d'olives i avellanes
- Rotoempacadores
- Etc.

Però dins d'aquest gran grup, es te que diferenciar els diferents tipus de màquines segons la manera de consumir el parell.

Es poden diferenciar tres grups:

- Les màquines que consumeixen el parell de manera constant.

  Com per exemple:

  Abonadores, etc.

- Les màquines que tenen pics molt elevats de parell.

  Com per exemple:

  Freses, trituradores,etc

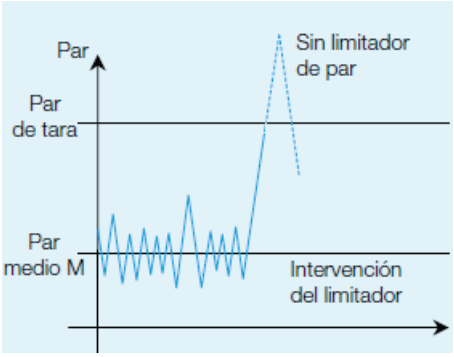


Figura 1.29. Gràfica de l'evolució del consum del parell d'una fresa.

- Les màquines que consumeixen el parell de manera exponencial, és a dir, que a mesura que va augmentant la velocitat angular de gir, també augmenta el parell consumit de forma quadràtica. És el cas dels ventiladors.

Figura 1.30. Ventilador d'un atomitzador.

1.1.4. Banc d'assaig

1.1.4.1. Historia

Els bancs d'assaigs de màquines i transmissions rotatives han tingut una evolució paral·lela al desenvolupament dels aparells de mesura i dels elements de control. Aquesta millora en dits aparells ha permès obtenir una major fiabilitat en l'obtenció de les mesures, la qual cosa, ha propiciat un gran desenvolupament en la diversitat de bancs d'assaigs, com son els utilitzats en les següents proves de cada tipus d'indústria:

- Indústria automobilística i de la motocicleta
    - Prova de motors tèrmics
    - Prova de transmissions
    - Prova de components d'automoció
    - Proves especials
    - Prova de vehicles complerts
    - Assaig de control d'emissions

- Indústria aeronàutica
    - Prova de motors a reacció
    - Prova de diferents components

- Indústria del sector elèctric
    - Prova de motors a corrent alterna i continua
    - Prova d'alternadors i generadors
    - Proves de components

Figura 1.31. Banc de proves de motors.

1.1.5. Frens Dinamomètrics

El fre dinamomètric és un element clau en el banc d'assaig, ja que aquest s'encarregarà d'aplicar una càrrega a l'eix de la transmissió i absorbir l'energia produïda pel motor.

1.1.5.1. Classificació

La classificació de frens més utilitzada es aquella que classifica els frens segons la forma de generar la força de fre.

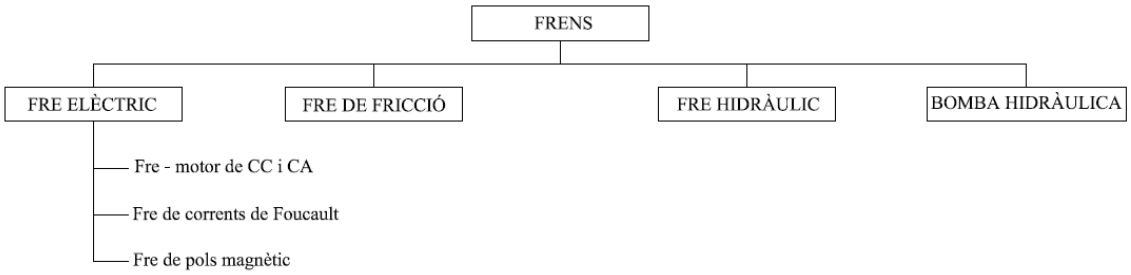


Figura 1.32. Classificació dels fres dinamomètrics

1.1.5.1.1. Fre de fricció

El fre de fricció fou el primer dispositiu conegut que s'utilitzà per conèixer la potencia efectiva d'un motor, concretament el fre Prony.

Com es pot apreciar a la Figura 1.32, aquest fre tracta de fixar un tambor sobre l'extrem de l'eix del motor o cigonyal, fent que pugui girar solidàriament. Sobre la perifèria d'aquest tambor s'instal·la dues sabates rodejades per unes molles, les quals van fixades a una barra. Aquestes molles es poden comprimir gràcies a uns cargols d'ajust. Quan la molla es comprimeix, fa que les sabates apliquin un esforç frenant sobre la perifèria del tambor. En l'extrem lliure de la barra on van fixades les molles, es pengen pesos de forma progressiva.

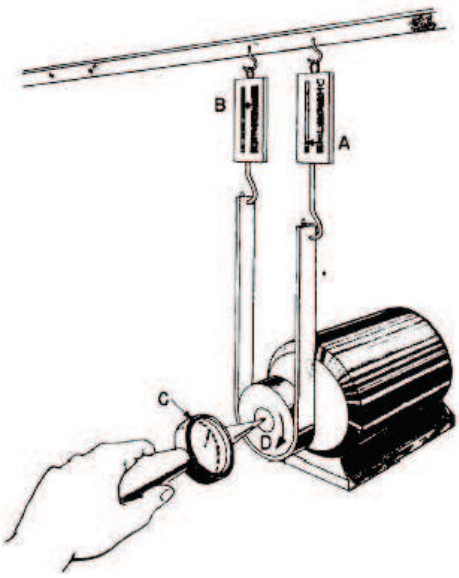


Figura 1.33. Esquema bàsic d'un fre Prony.

Així doncs, es te que per un costat el parell del motor tendeix a fer girar el sistema en el seu sentit de gir gràcies a la fricció entre tambor i les sabates, però per l'altre costat, el parell que introdueixen els pesos aplicats per la palanca fan tendir a girar el sistema en sentit contrari. D'aquesta manera, quan el sistema està equilibrat no gira en cap dels dos sentits, el que indica que en aquest cas el parell del motor és igual al parell resistent. El parell resistent es calcula fàcilment, ja que es coneix la distancia de la barra al centre de l'eix i els pesos aplicats.

Aquest sistema ha quedat lògicament en desús tot i que encara s'ha anat millorant, substituint per exemple l'aplicació de pesos per un dinamòmetre de molles que era capaç de llegir directament l'esforç d'aquestes i per conseqüència el parell del motor. Per poder saber la potencia efectiva calia saber també el regim de gir ($P_e = M \cdot \omega$). Antigament s'aconseguia mesurant amb un tacòmetre mecànic de contrapesos per força centrifuga, actualment es podria fer servir tacòmetre electrònic.
El problema fonamental d'aquest tipus de frens, al marge de la seva difícil regulació, és que tota la potencia de frenada es converteix en calor degut a la fricció de les sabates amb el tambor, i aquestes es solien cremar o fer malbé degut a la insuficient capacitat de dissipació de calor. El fre Prony va caure en desús quan van aparèixer altres tipus de frens, ja que tenien una millor fiabilitat major facilitat de regulació i millor capacitat d'absorbir grans potencies. D'aquesta manera, no es creu que aquest sigui un dispositiu útil per al banc d'assaig del present projecte.

1.1.5.1.2. Fre hidràulic

Els frens hidràulics consten d'un o varis rotors en forma de turbina hidràulica enfrontats a uns estators de similar geometria, immersos en un fluid hidràulic que generalment es aigua. El rotor, solidari a l'eix del motor actua com a bomba hidràulica i desplaça l'aigua des de l'eix de gir a la perifèria guiant-lo amb la forma dels seus àleps. D'aquesta manera les partícules d'aigua son impulsades pel moviment del rotor, sortint projectades paral·leles a l'eix de gir i contra la part superior del àleps de l'estator, que les recull i les retorna a la part inferior del següent àlep del rotor (Figura 1.33). És així

com es crea una corrent d'aigua en forma de remolí toroïdal que es el lligam de tipus viscós entre rotor i estator.

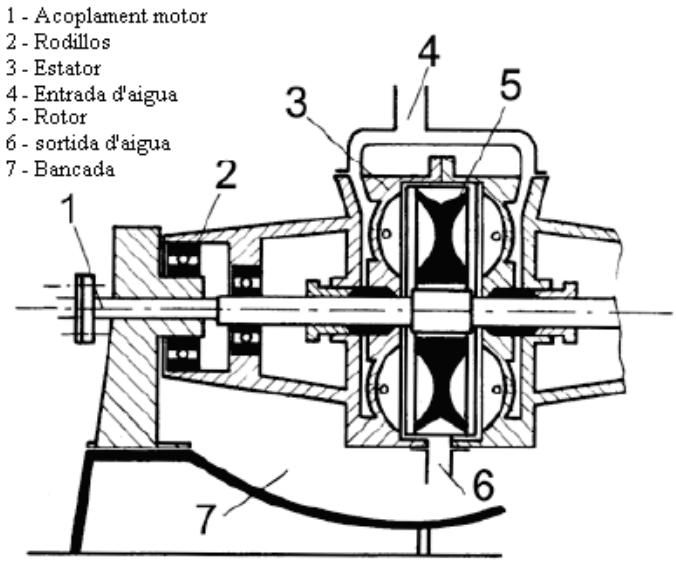


Figura 1.34. Esquema bàsic d'un fre hidràulic.

Segons la quantitat d'aigua que hi ha dins del fre, la superfície hidràulica enfrontada entre els àleps serà major o menor i per tant, hi haurà més superfície d'unió entre rotor i l'estator, aconseguint més o menys parell de frenada. Així doncs, la regulació del parell de frenada serà mitjançant la variació del nivell de líquid en la cambra.

A part cal tenir en compte que tota la potencia es transforma en calor, fent necessari circular i renovar el fluid per dissipar la calor generada. Això s'aconsegueix gràcies a la circulació de l'aigua mitjançant la pròpia impulsió del rotor. L'entrada d'aigua al fre es sol controlar mitjançant una vàlvula que estrangula la sortida en funció del parell que es vulgui aplicar. D'aquesta manera el fluid realitza dos funcions a la vegada: ser l'element frenant i refrigerant. Per mesurar el parell de frenada es sol utilitzar una cèl·lula de carrega unida a l'estator.

Els frens hidràulics són en general poc voluminosos en relació a la potencia que poden absorbir, tenint rotors amb molta menys inèrcia que els dels frens elèctrics. També destaquen per ser uns frens amb un manteniment pràcticament nul. Per contra, degut al seu sistema de funcionament, quan el motor gira a un regim de voltes baix, el parell que

pot produir el fre es molt petit. L'única solució a aquest problema seria el utilitzar un fre hidràulic de majors dimensions i per tant més costós.

1.1.5.1.3. Fre elèctric de corrents de Foucault

Els frens dinamomètrics elèctrics de corrents de Foucault són màquines concebudes per a realitzar assaigs de potencia de motors en els que es desitgi una regulació ràpida i d'alta precisió. Les excepcionals característiques d'aquest tipus de fre els fa apropiats per realitzar treballs d'investigació, desenvolupament, homologacions i assaigs automatitzats, degut a la facilitat de control directe per ordenador. El seu funcionament es bassa en les corrents paràsites de Foucault o corrents d'Eddy que es produeixen en les màquines elèctriques durant el seu funcionament.

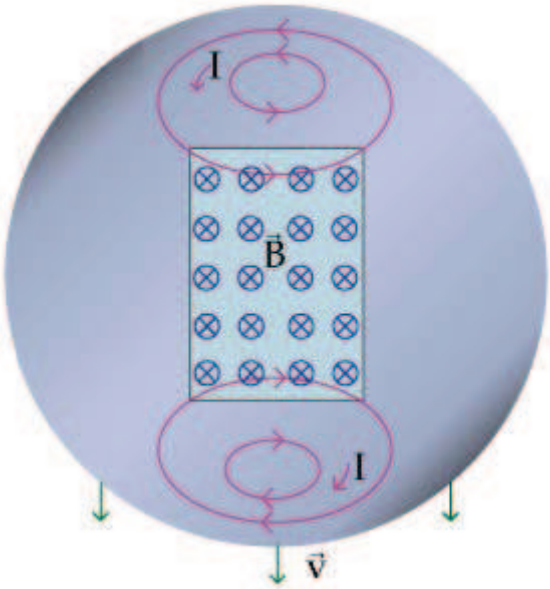


Figura 1.35. Efecte corrents de Foucault.

Les corrents de Foucault és un fenomen elèctric que es causat quan un camp magnètic variable intersecciona un conductor o viceversa. El moviment relatiu causa una circulació d'electrons o corrent dins del conductor. Aquestes corrents circulars de Foucault creen electroimants amb camps magnètics que s'oposen a l'efecte del camp magnètic aplicat. Així, quant més fort sigui el camp magnètic aplicat majors seran les corrents de Foucault i els camps opositors generats, fet que es pot aconseguir

augmentant l'excitació de les bobines de l'estator. D'aquesta manera, les corrents de Foucault són creades degut a les tensions induïdes provocades per la variació del flux electromagnètic.

Al contrari que en un motor elèctric on es desitja reduir al màxim aquestes corrents paràsites per augmentar el seu rendiment, un fre de corrents de Foucault potencia i aprofita les corrents paràsites que es produeixen en l'estator per a oposar resistència al gir de l'eix. El rotor es construeix dentat i al girar arrossegat pel motor que produeix en l'estator unes corrents que s'oposen al moviment sota la influencia d'un camp magnètic generat per a una bobina en l'estator i de característiques regulables per control electrònic. El parell resistent és proporcional a la intensitat que travessa la bobina i la potencia de frenada és el producte d'aquest parell i de la velocitat de gir.
La potencia de frenada es transforma en calor, pel que és necessari refrigerar la màquina. Segons la potencia a dissipar, temps d'utilització i precisió caldrà utilitzar un sistema de refrigeració determinat. La refrigeració menys costosa és la dissipació mitjançant aire, el qual es bassa en fer circular aire a través d'unes resistències elèctriques dissipades de calor. Tot i això, per mitges i altes potències el sistema més utilitzat és la refrigeració per circulació d'aigua en l'estator.
La carcassa o estator del fre està balancejada i seria arrossegada per la influencia magnètica del rotor en el seu gir si no existís una unió a la bancada. La unió de carcassa-bancada es sol realitzar mitjançant un transistor de força o cèl·lula de càrrega. Aquest sensor pot mesurar la força o parell amb el que intenta girar l'estator, que es el mateix que el que li transmet el rotor, anomenat parell resistent o parell del motor. En la Figura 1.35 es pot apreciar altres elements importants com el coixinets necessaris per a recolzar l'eix del fre i així aconseguir la suspensió pendular.
El control del parell resistent del fre es sol realitzar electrònicament mitjançant un regulador PIB (Proporcional, Integral, Derivatiu) que aplicat a l'etapa de potencia de transistors adequats al tipus de fre, permet estabilitzar manualment o automàticament el conjunt fre-motor en unes condicions de parell i règim de voltes predeterminades. Aquesta regulació no és més que un variador directe de l'alimentació elèctrica de les

bobines de l'estator, constituint així un tipus de regulació molt més ràpida i estable que la regulació hidràulica dels frens dinamomètrics hidràulics.

Com a inconvenients, és destacable l'elevada relació dimensió/potencia dissipada en comparació amb els frens hidràulics, fet que també repercuteix en el cost.

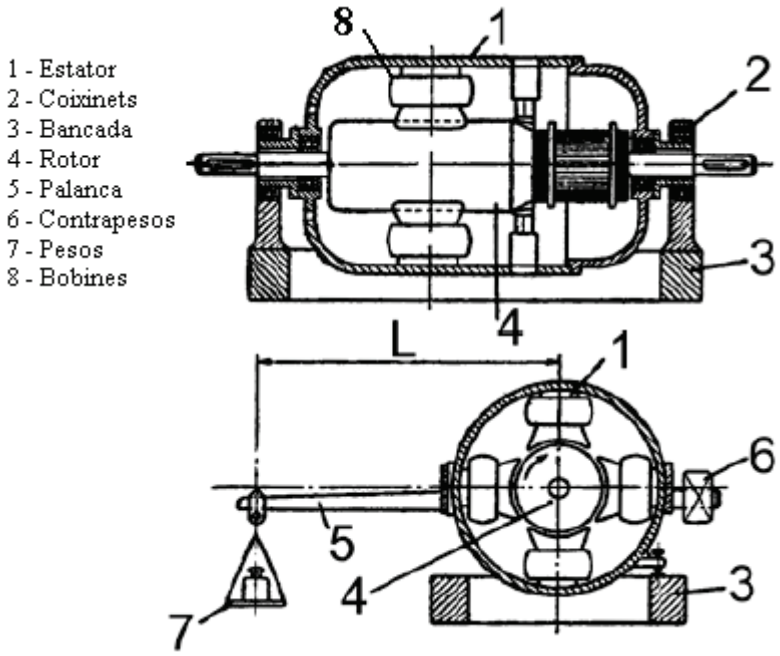


Figura 1.36. Esquema basic del fre de corrents de Foucault.

1.1.5.1.4. Frens-motor de corrent continua i alterna

Es pot anomenar així a la màquina que es un generador i motor elèctric amb dispositiu de frenada a la vegada. Aquesta màquina es l'encarregada d'aplicar una càrrega a l'eix i absorbir la potencia mecànica que es dedueix, la qual la converteix en energia elèctrica en cas de que giri en velocitat superior a la de sincronisme, podent ser aprofitada amb un retroalimentador o simplement dissipada en forma de calor en resistències elèctriques.

El moviment giratori dels frens-motors es basa amb la força derivada de la repulsió i atracció entre pols magnètics. Creant camps constants convenientment orientats en l'estator i rotor, s'origina un parell de forces que obliga al rotor a girar, buscant la

posició d'equilibri. Altres elements importants en els motors elèctrics universals, son les escombretes les quals solen ser dos tacs de grafit que fan de contacte elèctric amb les bobines del rotor. A mesura que aquest gira, la connexió es commuta entre unes i altres bobines. El contacte entre escombretes i les bobines del rotor es realitza intercalant una corona de coure partida en sectors anomenat col·lector (Figura 1.36). Els frens-motors de CA es diferencien dels de CC per ser alimentats per corrent alterna enlloc de corrent continua, fet que la velocitat del rotor està supeditada a la freqüència de la tensió que l'alimenta. En el cas dels frens-motors de CC, la velocitat de gir dependrà del voltatge i de la corrent que alimenta els debanats. A part, els frens-motors de CA destaquen per transmetre l'energia al rotor per inducció (com un transformador), sense necessitat d'entaular contacte físic entre el mateix rotor i el seu entorn immòbil.

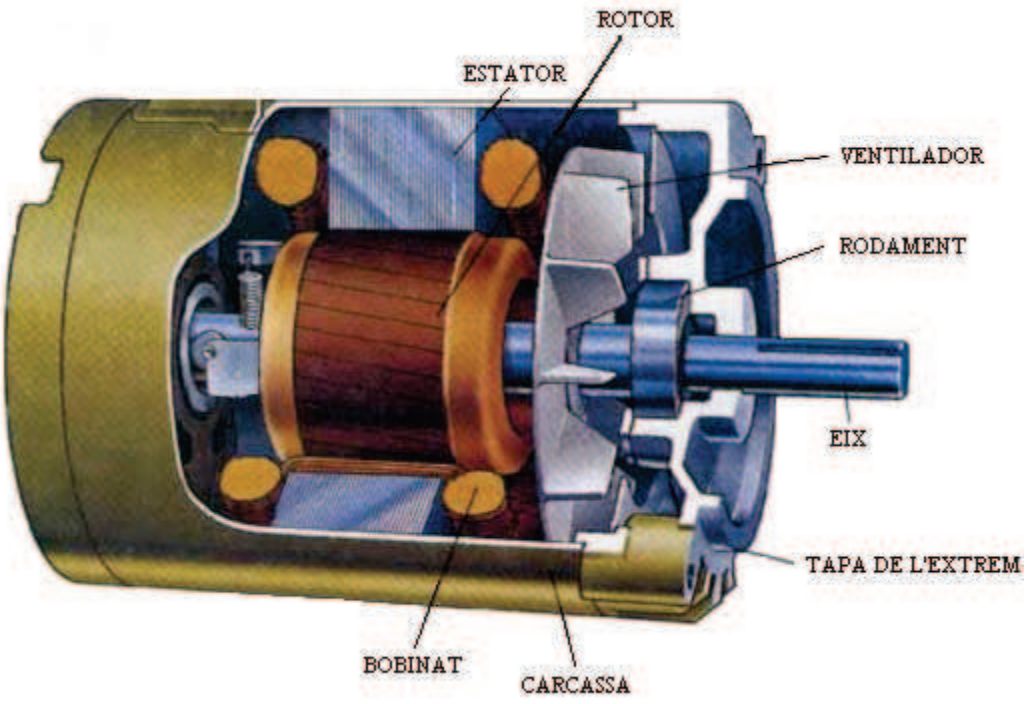


Figura 1.37 Esquema basic d'un fre – motor.

Els Frens-motor asíncrons destaquen per la constitució del seu rotor, el qual està construït amb bobines en curtcircuit que al sofrir la inducció de les bobines de l'estator genera camps magnètics amb la combinació de les quals crea forces que les manté mecànicament quasi solidaries. Es llavors quan el camp magnètic giratori que produeix

la xarxa entre l'estator i el rotor produeix el moviment. El nom de asíncron prové del fet que el camp inductor gira lleugerament més ràpid que el rotor. La relació entre la velocitat del camp inductor i la del rotor rep el nom de lliscament.

Per poder regular el sistema i convertir la màquina en un fre dinamomètric complet, s'afegeix una unitat de control que sol ajustar la velocitat de l'eix. Aquesta unitat és un simple variador de freqüència en el cas de que el fre sigui de CA o un variador de corrent continua en el cas de que el motor sigui de CC.

En la figura 1.37 es mostra les quatre posicions possibles de funcionament dels frens-motor utilitzats en bancs d'assaig. Es coneix també com funcionament per quatre quadrants:

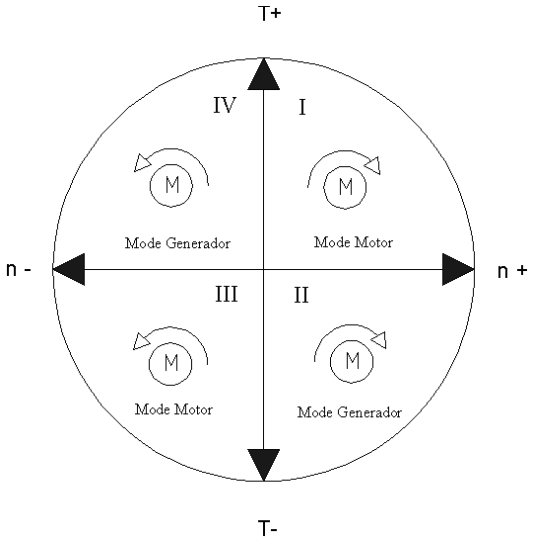


Figura 1.38. Els quatre quadrants de funcionament del fre – motor elèctric.
" n indica el gir, " T indica el parell de gir".

- I quadrant: Mode motor, gir en el sentit de les agulles del rellotge.
- II quadrant: Mode fre-generador, gir en el sentit de les agulles del rellotge.
- III quadrant: Mode motor, gir en el sentit contrari de les agulles del rellotge.
- IV quadrant: Mode fre-generador, gir en el sentit contrari de les agulles del rellotge.

Els frens-motor solen ser utilitzats per a motors d'automació. En bancs d'assaigs d'altes potencies s'utilitza poc i per aplicacions concretes, ja que els dispositius frens-motors d'altes potències són força més complexos i cars que la resta de frens dinamomètrics.

1.1.5.1.5. Fre de pols magnètic

És una màquina similar al fre de corrents paràsites o Foucault, amb la diferencia que l'entreferro esta ocupat per llimadures de ferro o pols magnètic. Aquestes partícules s'orienten en funció de la intensitat del camp magnètic que les travessa. Son aquestes llimadures les que fan d'unió entre el rotor i l'estator, i per tant són l'element frenant del sistema. Aquest fre destaca per poder funcionar a moltes baixes voltes, però per contra té molt limitat la capacitat per dissipar l'energia calorífica, pel que sols s'utilitza en aplicacions de baixa potencia (motors elèctrics petits, electrodomèstics, eines, etc.).

1.1.6. Tipus de sensors de velocitat angular

Aquest tipus de sensor s'utilitza per mesurar la velocitat angular de l'eix de transmissió mitjançant tacòmetres, muntats en l'eix del fre dinamomètric i/o en l'eix de sortida del motor.

Aquests aparells son de gran utilitat quan es fan assaigs de transmissions i reductors , ja que les mesures que es volen obtenir son la velocitat angular i el parell d'entrada i de sortida de l'element a assajar.

També s'utilitzen quan es volen realitzar assaigs de motors, però en aquests casos només es necessita un tacòmetre ja que els dos eixos als que està unit el tacòmetre, tenen la mateixa velocitat angular.

1.1.6.1. Tacòmetre electromagnètic

Aquest aparell de mesura està format per una roda dentada i un sensor electromagnètic, El sensor està muntat directament davant d'una roda d'impulsos ferromagnètica.

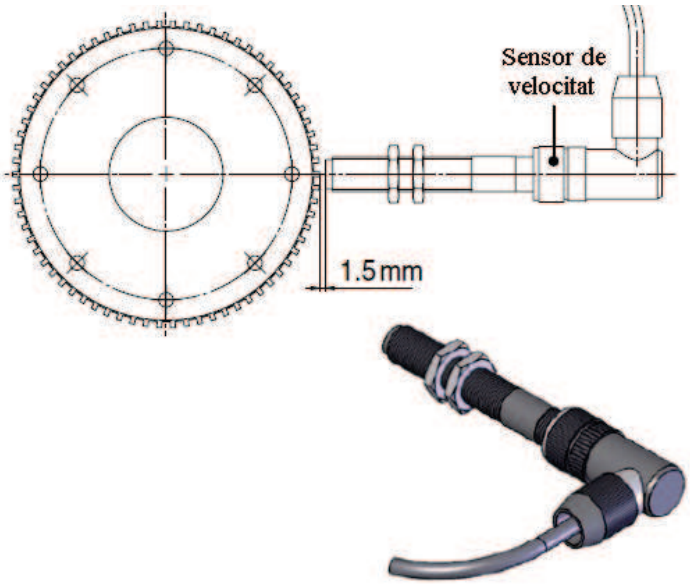


Figura 1.39. Representació d'un tacòmetre i esquema de posició ideal per realitzar mesures.

Conté un nucli de ferro dolç (espiga polar) envoltat per un debanat. L'espiga polar comunica amb un imant permanent . Hi ha un camp magnètic que s'estén sobre l'espiga polar i penetra en la roda d'impulsos . El flux magnètic que passa a través de la bobina depèn de si davant del sensor es troba un buit o una dent de la roda d'impulsos. Una dent concentra el flux de dispersió de l'imant, i es produeix una intensificació del flux útil a través de la bobina. Per contra, un buit debilita el flux magnètic. Aquests canvis en el flux magnètic indueixen a la bobina una tensió sinusoïdal de sortida que és proporcional a la velocitat de les variacions.

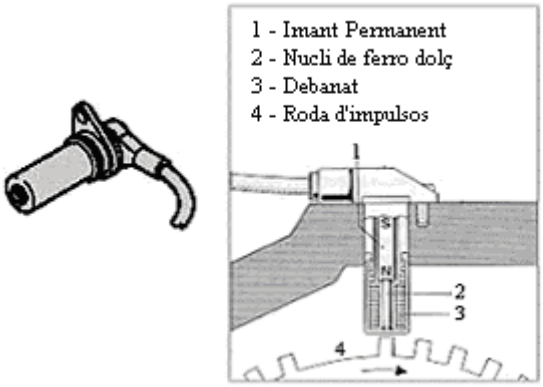


Figura 1.40. Esquema d'un tacòmetre.

Coneixent la freqüència de les pulsacions i el nombre de dents de la roda "Z", el càlcul de les revolucions per minut "ω" es directe:

$$\omega\,[{}^{rad}\!/_{s}] = \frac{f}{Z} \cdot 60 \qquad \text{(Equació 1.1)}$$

Aquest tipus d'aparells son molt utilitzats en diversos sectors, com per exemple en el sector de l'automoció amb el sensor del ABS (detecta el pas de les dents mitjançant un camp magnètic i evita que la velocitat angular d'aquestes sigui zero en una acció de frenada en condicions adverses).Aquesta diversificació de camps on es troba es degut a la relació entre precisió i cost.

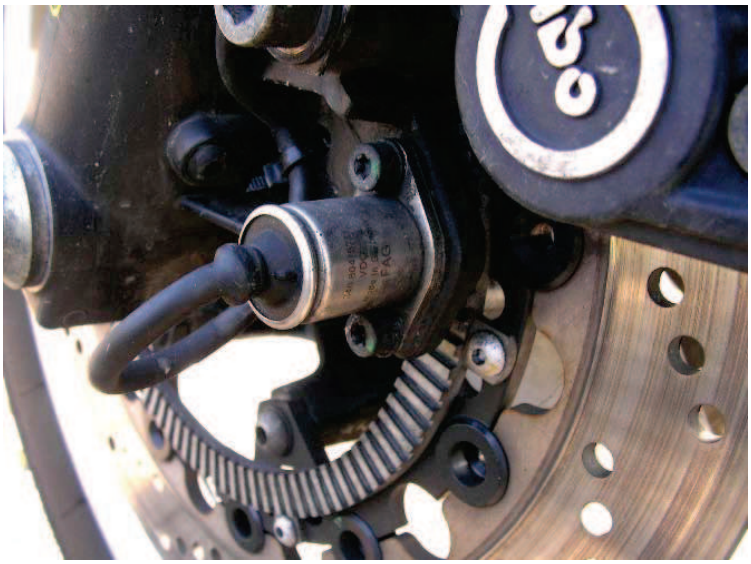


Figura 1.41. Exemple de les múltiples aplicacions dels tacòmetres.

1.1.6.2. Tacòmetre fotoelèctric (encòder)

Els tacòmetres fotoelèctrics o encòders són dispositius que converteixen la posició angular mecànica en una senyal elèctrica. Estan compostos per un disc rotatiu amb unes perforacions determinades, un fotoemissor i un sensor fotoelèctric.

Els tipus d'encòder es diferencien bàsicament amb la filosofia de funcionament. Aquests poden ser incrementals o absoluts.

• Encòder òptic incremental

La seva forma més senzilla consisteix en:

- Disc transparent amb unes marques radials i equidistants entre elles, alternant línies opaques amb espais transparents.
- Sistema d'il·luminació (foto-emissor).
- Element fotoreceptor

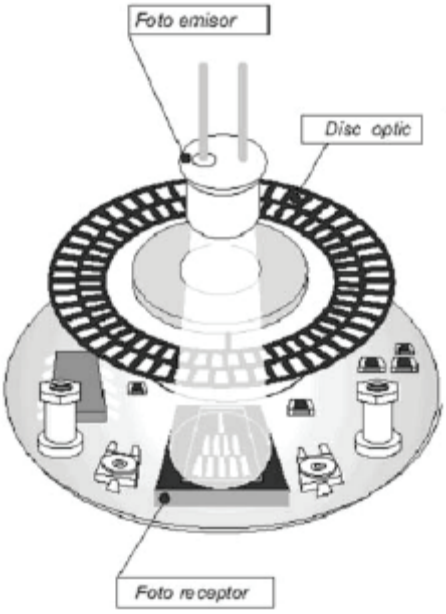


Figura1.42. Encòder Incremental.

El sistema de lectura dels encòders es basa en la rotació del disc graduat. Aquest conjunt és il·luminat de forma perpendicular per una font de raig òptic. El disc projecta d'aquesta manera la seva imatge sobre la superfície de varis receptors.

Els receptors tenen com a missió detectar les variacions de llum que es produeixen amb el desplaçament del disc i convertir-les amb les corresponents variacions elèctriques.

L'eix del qual es mesura la posició, va acoblat mecànicament al disc transparent. A mesura que l'eix gira, l'encòder va generant polsos permetent conèixer la posició de l'eix.

L'encòder incremental proporciona dues formes de ones quadrades desfasades entre sí 90º, canal A i canal B. Amb la lectura d'un sol canal es disposa de la informació

corresponent a la velocitat de rotació. El canal B, permet conèixer el sentit de gir segons la seqüència que produeixen ambdós senyals. Existeix a més a més un altre senyal anomenat canal Z o Zero, que proporciona una posició absoluta del zero de l'eix de l'encòder.

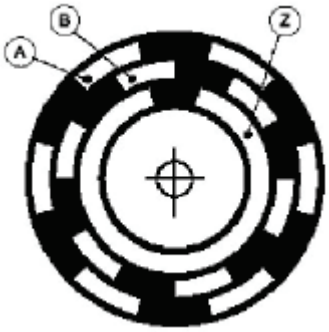


Figura 1.43. Representació dels canals en un encòder incremental.

La resolució de l'encòder dependrà del número de marques que es poden situar físicament al disc.

• Encòder òptic Absolut

El principi de funcionament d'un encòder absolut és molt semblant al d'un encòder incremental en el qual un disc que gira amb zones transparents i opaques que interrompen un raig de llum captat per fotoreceptors. Després, aquests transformen els impulsos lluminosos en impulsos elèctrics els qual són tractats i transmesos per l'electrònica de sortida.

Respecte als encòders incrementals, els encòders absoluts mostren importants diferències des del punt de vista funcional. Mentre que en els encòders incrementals la posició està determinada per nombre de polsos respecte a la marca de zero, en els absoluts la posició queda determinada mitjançant la lectura del codi de sortida, única per cada una de les posicions del disc.

Figura 1.44. Encòder incremental (esquerra), absolut (dreta).

1.1.6.3. Resolver

El resolver és un tipus de sensor que s'utilitza per l'obtenció de la posició absoluta de l'eix del rotor d'un motor. Generalment està acoblat directament al motor. Es sol utilitzar en aplicacions on es requereix conèixer la posició amb certa precisió. L'avantatge és que dóna una sortida en valor absolut i que la precisió no depèn del resolver, que és analògic, sinó del convertidor AD al qual s'acobla, podent assolir més de 65.536 punts per volta. El funcionament del resolver es el de un transformador.

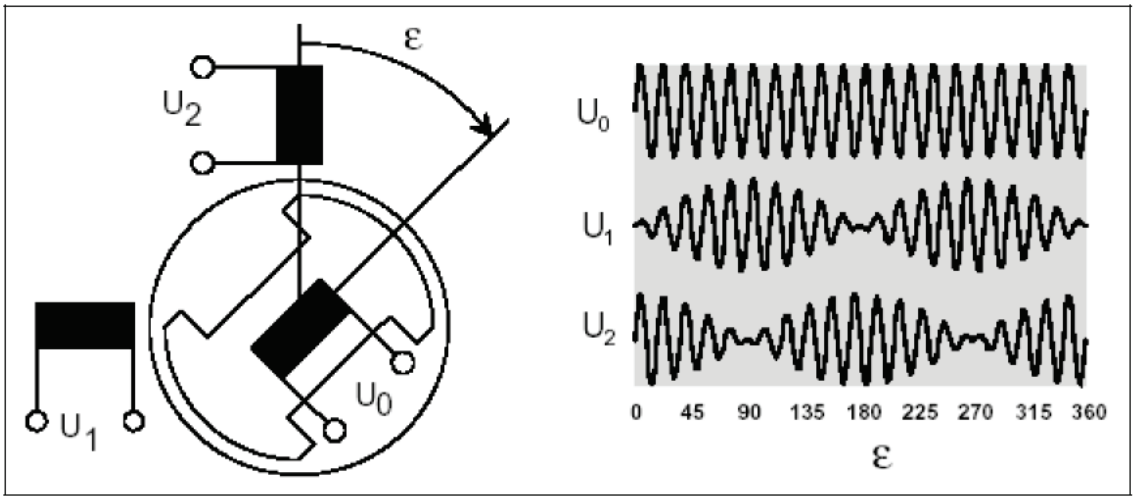


Figura 1.45. Esquema bàsic d'un resolver.

En el rotor hi ha una bobina (amb N voltes) que s'alimenta amb tensió alterna U_0 de freqüència f_{ref}, que serveix com portadora (U_0). En el estator hi ha dos bobines més

(normalment de $n/2$ voltes) desfasades 90º una de l'altra, en aquestes s'indueixen les tensions U_1 i U_2 que son la senyal portadora (U_0) modulades amb el sinus i el cosinus respectivament de l'angle mecànic (ε)

1.1.6.4. Tacòmetre òptic

El mode de funcionament d'aquest aparell digital consisteix en mesurar les velocitats angulars o lineals de la peça sense tenir contacte amb la mateixa.

El funcionament es basa en la recepció d'un raig de llum que rebota en una banda reflectant adherida a la peça rodant a mesurar i és rebuda pel díode fotosensible. Aquesta llum pot ser la del Sol o proveïda pel díode emissor infraroig. Qualsevol que sigui el sistema, cada vegada que la banda reflectant fa rebotar un llamp lluminós, el PIC incrementa en un comptador.

Per realitzar correctament aquesta medició es té que col·locar el tacòmetre en posició perpendicular davant de la banda reflectant, tal i com s'indica en la Figura 1.46.

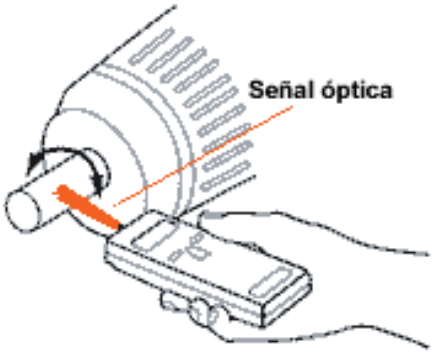


Figura 1.46. Tacòmetre òptic.

1.1.7. Sensors de parell

El sistema de mesura de parell de frenada normalment depèn de la disposició i disseny del fre dinamomètric. A continuació es comenta les formes de mesura possibles.

1.1.7.1. Braç de reacció i cèl·lula de càrrega

La gran majoria de frens dinamomètrics, solen estar dissenyats de forma que la part que absorbeix la potencia de frenada estigui muntada sobre rodaments coaxials a l'eix de la màquina, quedant l'estator en suspensió pendular, d'aquesta manera el parell de l'element a assajar es realitza mitjançant un transductor de parell que uneix l'estator amb la bancada a una distancia coneguda de l'eix del fre. Aquests transductors s'anomenen cèl·lules de carrega.

Una cèl·lula de càrrega és un transductor que converteix la força mecànica en senyals elèctrics. Hi ha molts tipus diferents de cèl·lules de càrrega que operen de formes diferents, però la cèl·lula de càrrega més comunament utilitzada avui en dia és la galga extensomètrica.

El principi de funcionament de les galgues extensomètriques és mesurar la deformació, o la tensió, per determinar la força (càrrega) aplicada. L'extensió es defineix com el percentatge del canvi de la longitud. Més concretament, l'extensió és el canvi de longitud, ΔL, dividida per la longitud, L, i que varia de manera directament proporcional a la càrrega aplicada. Al detectar l'extensió i coneixent les característiques físiques del component de l'estructura a la qual s'aplica la càrrega, es pot calcular amb precisió la força.

1.1.7.2. Transductor de parell on la mesura es realitza mitjançant Telemetria

Aquest tipus de transductors estan formats per un disc, amb unes dimensions reduïdes. Aquests transductors son molt útils a l'hora de realitzar assaigs de transmissions, tant per les seves reduïdes dimensions, com la seva perfecta adaptació en la realització d'assaigs dinàmics. En els assaigs de transmissions s'han d'utilitzar dos transductors, un a l'entrada i l'altre a la sortida, és a dir, un a l'eix que surt del motor abans d'arribar a la transmissió a assajar i l'altre a la sortida de la transmissió, en l'eix que va d'aquesta al fre.

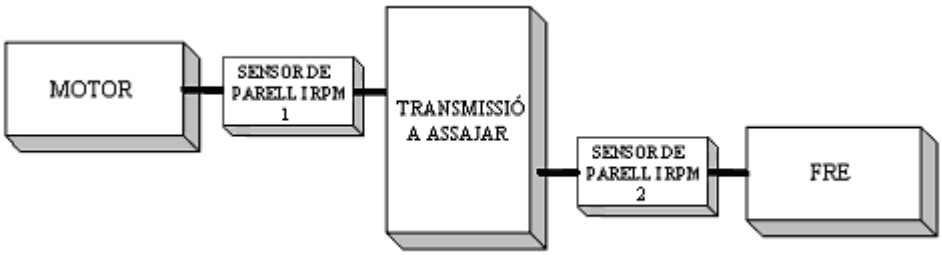


Figura 1.47. Esquema de blocs d'un assaig de transmissions.

En aquest cas el sensor de parell rep per un cantó la carrega que imposa el motor o fre i per l'altre rep la resistència que oposa la transmissió. A partir d'un receptor el qual està separat del disc, es rep la mesura del parell telemetricament, codificat en senyal digital. La senyal es pot transformar i amplificar en un condicionador de dades, el qual envia la senyal en forma analògica per poder registrar en un sistema d'adquisició de dades.

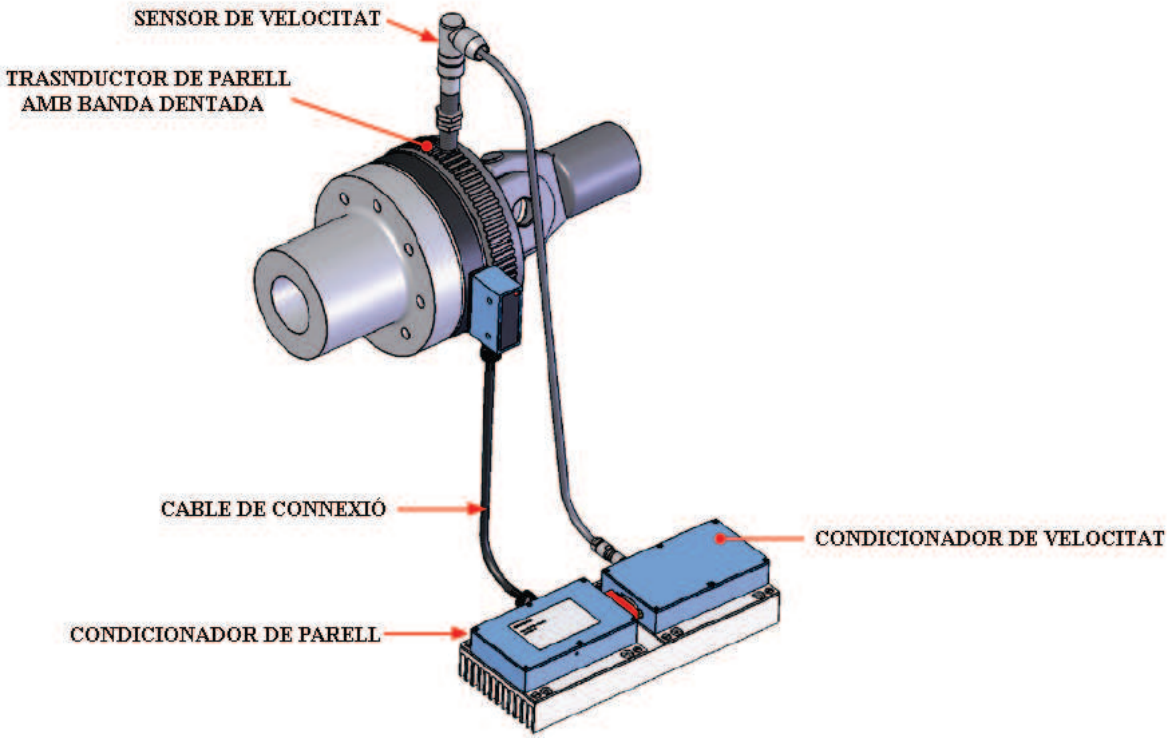


Figura 1.48. Representació del sensor de parell MAGTROL.

Al contrari que la cèl·lula de carrega, aquest tipus de transductor realitza la mesura del parell de forma directa i amb una millor precisió. També destaca per tenir menys

problemes de calibració que la cèl·lula de càrrega. Per l'altra banda, els transductors de parell són força més cars.

1.1.7.3. Transductor de parell on la mesura es realitza mitjançant escombretes

Aquests sensors estan dissenyats per a mitja velocitat i el manteniment dels anells han de ser correctes per aconseguir una precisió alta.

Figura 1.49. Sensor de parell amb escombretes.

1.1.7.4. Transductor de parell on la mesura es realitza sense contacte, amb transformador

Utilitzant la tecnologia de la bandes extensòmetres i realitzant la transmissió del senyal des de l'eix giratori a un punt fix mitjançant transformadors concèntrics, la casa Magtrol ha desenvolupat una sèrie completa de mesuradors de parell de torsió en un ampli rang de capacitats i alta velocitat els quals porten incorporats el sensor interiorment.

Aquests sensors estan dissenyats per mesurar des de estàtic fins a alta velocitat, ja que poden arribar a una velocitat de fins a 50.000 rpm. amb una precisió millor de 0,1% fs.

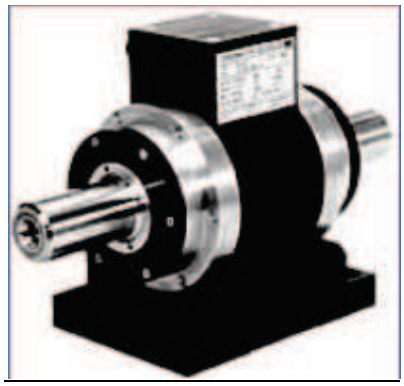


Figura 1.50. Sensor de parell, amb transformador.

1.1.7.5. Mesura indirecta elèctrica

Aquest tipus de mesura només es pot realitzar amb motors – frens elèctrics i es un mètode alternatiu als vistos anteriorment.

El principi de funcionament consisteix primerament en trobar la potencia elèctrica que produeix el motor – fre mitjançant un amperímetre i un voltímetre en el sistema de retroalimentació o de resistències elèctriques en el cas que no es vulgui aprofitar part de l'energia introduïda en el sistema.

Una vegada s'ha trobat la potencia elèctrica, s'ha de calcular la potencia mecànica efectiva que arriba a l'eix del motor – fre, tenint en compte el rendiment que indica el fabricant:

$$P_m = \frac{P_f}{n_t} \qquad \text{(Equació 1.2)}$$

Per l'altra banda a partir d'un tacòmetre o sabent la freqüència elèctrica en l'inversor, es pot arribar a determinar el règim de voltes del motor. Tenint aquests dos valors, el càlcul del parell es directe , ja que depèn de la potencia mecànica efectiva i de la velocitat angular:

$$\tau = \frac{P_m}{\omega} \qquad \text{(Equació 1.3)}$$

1.1.8. Motors utilitzats en bancs d'assaig

A continuació es realitzarà un estudi dels motors elèctrics més interessants, per l'abast d'aquest projecte.

1.1.8.1. Motor de CC

Els motors de corrent continu tenen diverses particularitats que els fan molt diferent als de corrent altern. Una de les particularitats principals és que poden funcionar a la inversa, és a dir, no només poden ser usats per transformar l'energia elèctrica en energia mecànica, sinó que també poden funcionar com a generadors d'energia elèctrica. Això passa perquè tenen la mateixa constitució física, d'aquesta manera, tenim que un motor elèctric de corrent continu pot funcionar com un generador i com un motor.

Els motors de corrent continu tenen un parell d'arrencada alt, en comparació amb els de corrent altern, també es pot controlar amb molta facilitat la velocitat. Per aquests motius, són ideals per a funcions que requereixin un control de velocitat. Són utilitzats per tramvies, trens, cotxes elèctrics, ascensors, cadenes productives, i totes aquelles activitats on el control de les funcionalitats del motor es fa essencial.

Però l'inconvenient d'aquest tipus de motors ve donat per les dificultats que presenta la distribució i maneig de la CC.

En la següent taula es pot observar les característiques de cada tipus de motor de corrent continu.

Tipus de motors de CC	Característiques principals
Motor amb excitació en sèrie	- Parell d'engegada molt elevat - Molt inestable. Tendència a embalar-se - Imprescindible reòstat d'engegada - Utilitzat en tracció elèctrica
Motor amb excitació independent	- Parell d'engegada molt elevat - Característiques molt similars al motor en derivació (shunt) - Motor bastant estable - Fàcil control de la velocitat, de forma automàtica - Imprescindible reòstat d'engegada - Utilitzat en motors de petita, mitjana i gran potencia.
Motor amb excitació shunt	- Parell d'engegada menys elevat que el motor amb excitació en sèrie - Motor molt estable. - Convé col·locar un reòstat d'engegada en el bobinat induït - Utilitzat en màquines eina per la seva estabilitat.
Motor amb excitació compound	- Bon parell d'engegada. Millor que el motor amb excitació shunt - Motor molt estable. No s'embala - Precisa de reòstat d'engegada - Utilitzat en màquines eina i en tracció.

Taula 1.1. Característiques motors de CC.

1.1.8.2. Motor de gàbia d'esquirol

Els rotors de gàbia d'esquirol (amb rotor en curtcircuit) son els més utilitzats, pel seu preu i engegada. En canvi, els motors de rotor bobinat o també anomenats d'anells fregants necessiten ser arrancats amb resistències rotòriques, el que incrementa el seu preu i la seva complexitat.

Els motors de rotor curtcircuitat no porten escombretes, però si que les porten els que son de col·lector i de rotor bobinat.

Elimina l'enrotllament al rotor o induït. Les planxes magnètiques formen el nucli del rotor, un cop muntades deixen uns espais cilíndrics que substitueixen les ranures dels rotors bobinats, per aquestes ranures passen unes barres de coure (o alumini) que sobresurten lleugerament del nucli, aquestes barres o conductors estan units en ambdós costats per uns anells de coure. Es denomina gàbia d'esquirol per la similitud que té amb una gàbia.

En els motors de gàbia de petita potència, les barres són reemplaçades per alumini injectat igual que els anells de tancament, als quals se'ls afegeixen unes aletes que actuen al seu torn en forma de ventilador.

Les ranures o barres poden tenir diferents formes i el que es pretén amb això és millorar el rendiment del motor, especialment reduir les corrents elevades que produeixen els motors de gàbia en el moment d'arrencada.

En la següent gràfica es pot observar l'evolució del parell a mesura que augmenta la velocitat angular.

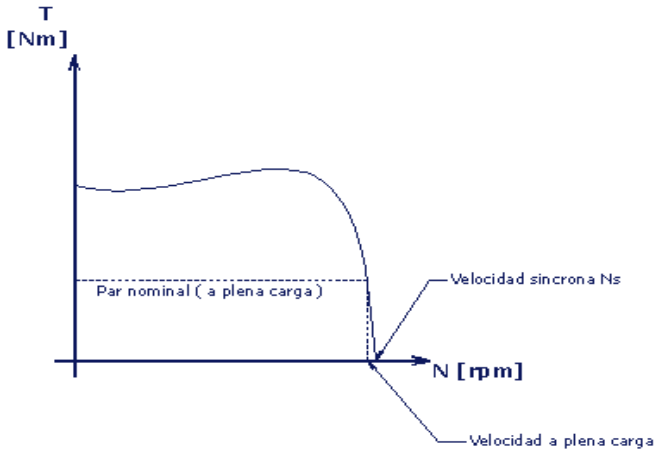


Figura 1.51. Entrega de parell d'un motor de CA de gàbia d'esquirol.

1.1.8.3. Motor universal

El motor universal és un tipus de motor que pot ser alimentat amb corrent altern o amb corrent continu. Les seves característiques principals no varien significativament, siguin alimentats d'una manera o altra. Per regla general, s'utilitzen amb corrent altern.

Aquest tipus de motor es pot trobar tant per a una màquina d'afaitar com per una locomotora, això dóna una idea del marge de potència en què poden arribar a ser construïts.

Les parts principals d'aquest motor són:

- Estator.
- Rotor amb col lector.

Les parts es poden observar a continuació:

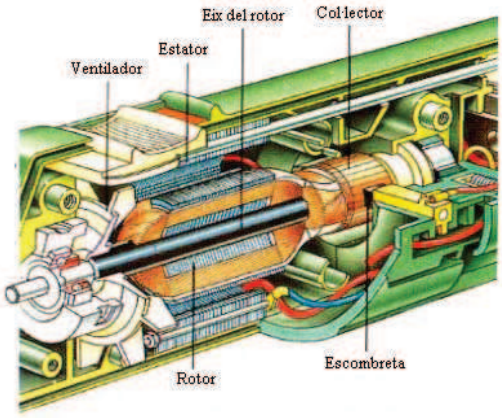


Figura 1.52. Esquema bàsic d'un motor universal.

Els bobinats de l'estator i del rotor estan connectats en sèrie a través d'unes escombretes. El parell d'arrencada es situa en 2 o 3 vegades el parell normal.

La velocitat canvia segons la càrrega. Quan augmenta el parell motor disminueix la velocitat. Es solen construir per a velocitats de 3.000 - 8.000 rpm, encara que els podem trobar per 12.000 rpm Per poder variar la velocitat necessitem variar la tensió d'alimentació, normalment es fa amb un reòstat o resistència variable.

1.1.8.4. Motor Brushless

El motor brushless es bàsicament un motor síncron trifàsic. En els motors brushless l'estator (la part fixa) és el bobinat, i el rotor conté els imants, al contrari del que passa en els motors amb escombretes.

Els debanats del estator son alimentats amb tensions de manera que el imant permanent del rotor segueix els camps magnètics creats pels debanats del estator.

Hi ha dos tipus de motor brushless :

- El motor brushless trapezoïdal
- El motor brushless senoidal

Encara que el principi de funcionament es totalment igual, la diferencia més destacable està en la forma d'alimentar els debanats del estator.

En el motor brushless trapezoïdal, cada una de les fases (debanats) s'alimenta amb polsos rectangulars de tensió amb un desfàs entre cada una de les fases de 120º. En el motor brushless senoidal, en canvi, s'alimenta amb tensió alterna trifàsica.

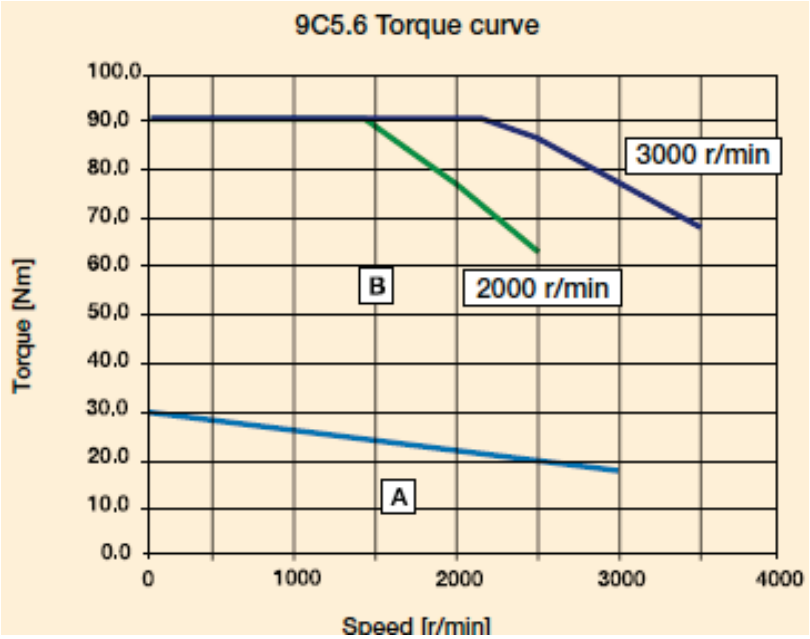


Figura 1.53. Gràfica de les prestacions d'un motor Brushless.

Tipus Motor	Característiques principals
Motor Brushless trifàsic	- No tenir escombretes i per tant menys manteniment de conservació - Gran fiabilitat amb la seva velocitat i control - Alta capacitat de control - Motor tancat i capaç de treballar amb atmosferes brutes - Necessitat d'un encòder o altre element per conèixer la posició de gir del motor - Necessitat de tindre una instal·lació elèctrica per alimentar el motor molt més acurada.

Taula 1.2. Característiques dels motors brushless

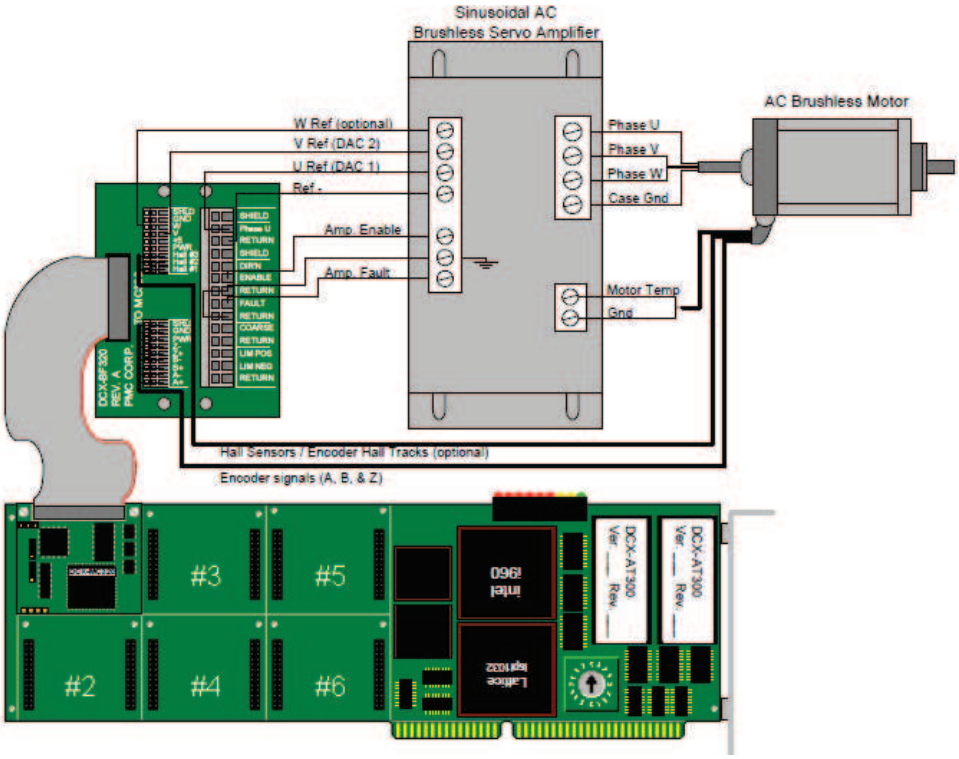


Figura 1.54. Esquema basic del control d'un motor brushless.

1.2. Objecte

Objectiu

El present projecte té l'objectiu de dissenyar un banc d'assaigs de màquines i transmissions rotatives per assajar components de maquinària agrícola.

- Ha de permetre l'assaig de motors (màquines que subministren potencia mecànica).
- Ha de permetre l'assaig màquines rotatives que requereixen potencia mecànica per ser accionades.
- Ha de permetre l'assaig de transmissions. (Serveixen per transmetre potencia mecànica).

Justificació

L'actual projecte s'ha realitzat a partir de la necessitat que té el centre tecnològic MAQCENTRE de Lleida, per assajar equips rotatius. En aquest punt es on s'ha intervingut per portar a terme l'estudi i elecció dels diferents components comercials del banc. També s'ha realitzat un disseny a nivell d'avantprojecte del banc.

1.3. Abast

L'abast del projecte consisteix:

- En l'elecció dels diferents components comercials:
    - Motor i electrònica de control d'aquest
    - Reductor
    - Arbre de transmissió
    - Sistema d'adquisició de dades

- Disseny del banc d'assaig amb els components comercials escollits, queda exclòs de l'abast del projecte el disseny al detall del mateix.
- Queda exclòs de l'abast del projecte, la realització del programa d'adquisició de dades.
- Queda exclòs de l'abast del projecte l'elecció del sensor de parell, ja que la fundació amb la qual s'està realitzant aquest projecte, ja conté dos sensors de parell tipus flat.
- Queda exclòs de l'abast del projecte el disseny de la instal·lació elèctrica del banc d'assaig.

1.4. Antecedents

Els bancs d'assaigs de màquines rotatives son sistemes que han seguit una evolució paral·lela al desenvolupament tecnològic global. Existeixen una gran varietat de bancs d'assaig segons la màquina a assajar, d'entre els quals cal destacar:

- Bancs d'assaigs de motors tèrmics
- Bancs d'assaigs de transmissions
- Bancs d'assaigs de vehicles complerts
- Bancs d'assaigs de motors elèctrics

Dels bancs anteriorment citats, els que han tingut una demanda superior a la resta son els bancs d'assaigs de motors tèrmics, aquesta demanda es deu principalment a l'esforç dels diferents sectors de l'automoció per augmentar el rendiment dels motors de combustió interna i per reduir les emissions d'aquests.

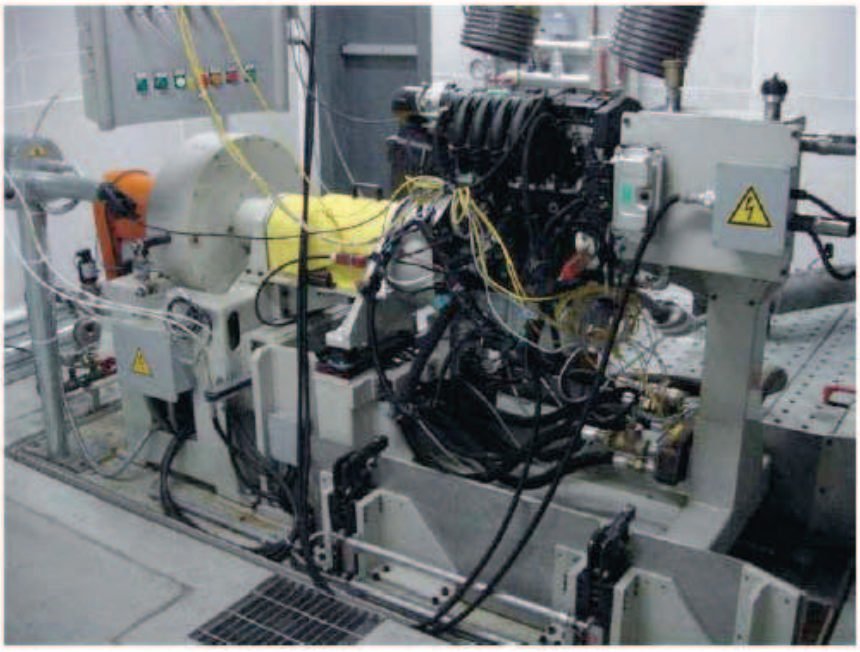


Figura 1.55. Banc de proves de motors de combustió interna.

Tant es així, que altres institucions, com les universitats han volgut prendre part en aquesta recerca en la millora dels motors de combustió interna, ja sigui mitjançant convenis de cooperació o pel seu propi compte.

Alguns exemples a nivell nacional els trobem en les universitats Politècnica de Catalunya (UPC-ETSEIB) i l' Universitat de Castilla la Mancha (UCLM), en les quals ja s'han realitzat diferents estudis en els seus respectius bancs d'assaigs de 290 kW i 250 kW.

Figura 1.56. Sala d'assaig de la UCLM.

Diverses empreses han desenvolupat bancs d'assaigs de baixa potencia per poder visualitzar les prestacions de motors, s'utilitzen en aplicacions didàctiques, de manera que puguin ser complementaries a classes teòriques. Alguns exemples d'aquestes empreses son: Gunt, Armfield, Didacta.

- Gunt te una gama de bancs d'assaig de motors de combustió interna de potencies compreses entre 2,2 kW i 75 kW. Aquests bancs destaquen per l'elevat nombre de paràmetres que es poden mesurar.
- Armfield va desenvolupar la sèrie de bancs d'assaig CM que destaca per ser mòbil. Amb una potencia màxima de 55 kW.
- Didacta te una gama de bancs d'assaigs de motors amb una potencia compresa entre 8 i 81 kW.

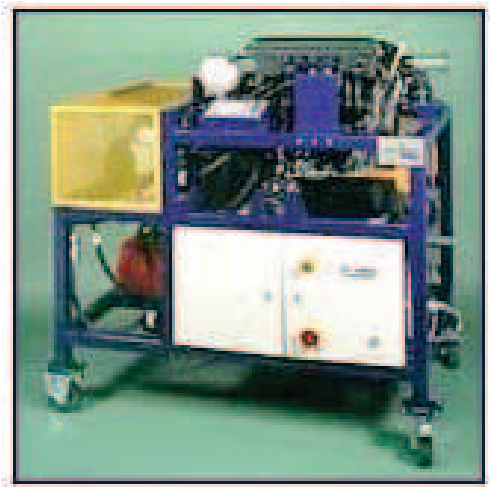


Figura 1.57. Banc d'assaigs de motors Armfield CM11.

Però també hi ha bancs d'assaig per motors de combustió interna amb capacitat per provar motors amb grans potencies.

Api – Com té una gran experiència en aquest camp on ha desenvolupat diferents bancs per grans potencies, que destaquen per estar muntats damunt de bases sísmiques per reduir les vibracions i també disposen de suports pel motor amb regulació d'altura, per poder adaptar diferents motors.

Figura 1.58. Banc d'assaig de motors de combustió interna.

En els últims anys hi ha hagut un augment significatiu en la fabricació de bancs d'assaigs pel control de qualitat de motors. Un exemple són els bancs d'assaig de control de qualitat de motors de l'empresa Api – Com. Aquests bancs et permeten mesurar les corbes característiques dels motors i també les emissions dels mateixos.

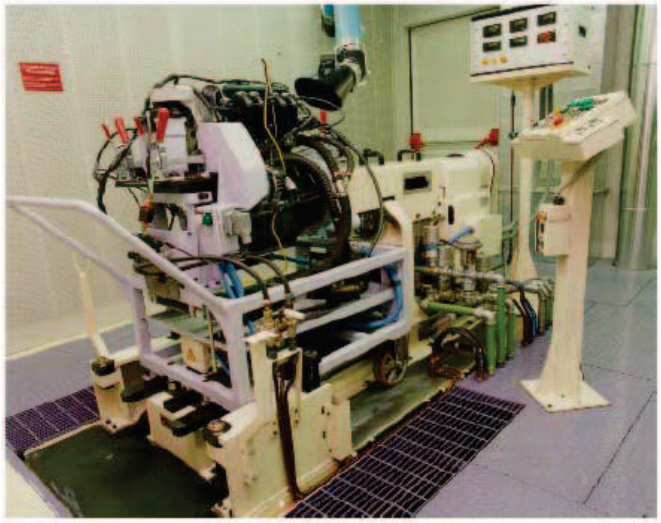


Figura 1.59. Banc de certificacions de motors.

També han augmentat la fabricació de bancs d'assaigs per aplicacions molt concretes. Amb sistemes de recirculació d'energia que et permeten reutilitzar part de l'energia que s'utilitza durant l'assaig. En aquest cas es un banc de proves de la marca Api – Com, per assajar caixes de canvi.

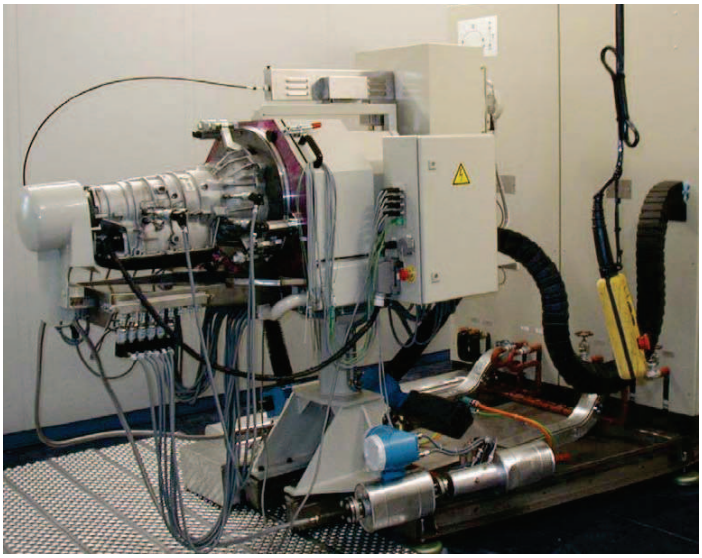


Figura 1.60. Banc de caixes de canvi amb retroalimentació.

AIDCO te un banc d'assaigs per transmissions d'elevada potencia, 150 CV, amb una bancada molt rígida amb possibilitat d'adaptació a diferents longituds de caixes de canvi.

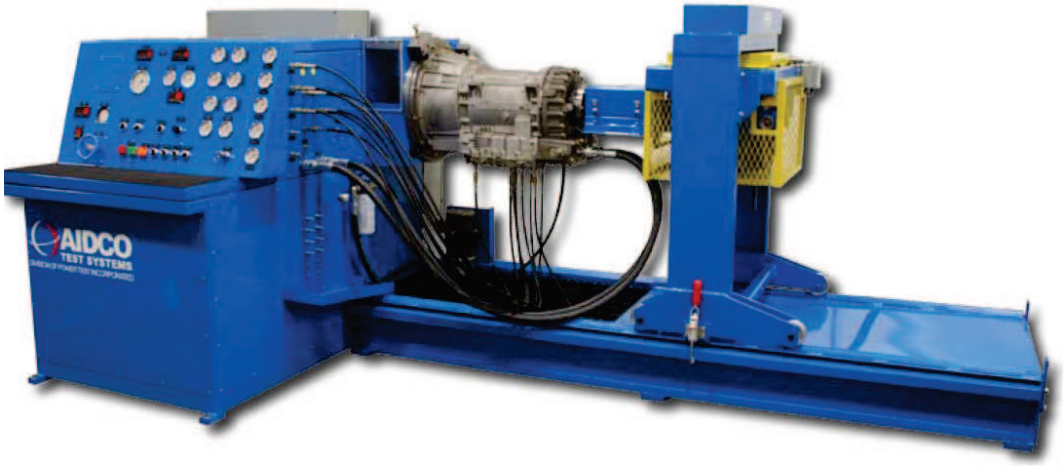


Figura 1.61. Banc d'assaig de caixes de canvi.

La casa ELASIS va llençar al mercat un banc d'assaig per transmissions agrícoles, amb una potencia de 260 kW, el software d'adquisició de dades està realitzat amb Lab View. Aquest banc d'assaig pot combinar un motor elèctric o diesel com unitat per subministrar energia a la transmissió.

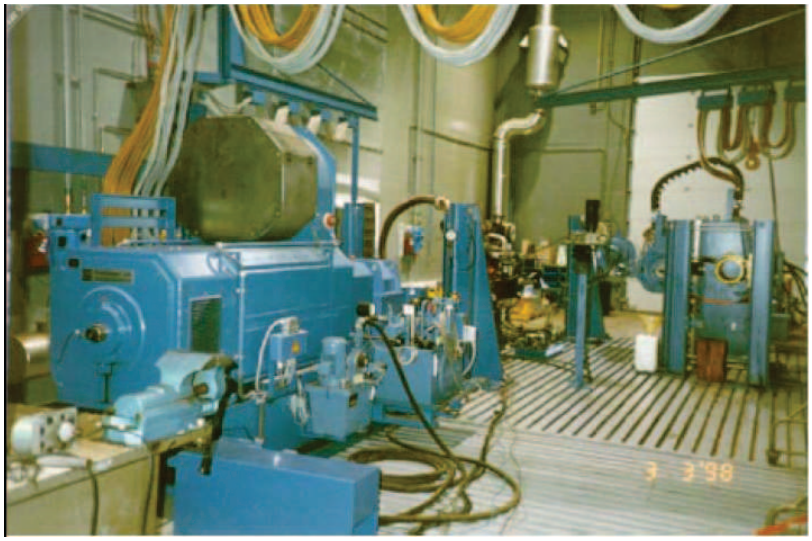


Figura 1.62. Banc d'assaig de transmissions agrícoles.

També s'ha estudiat les maquines que utilitzen el grup de recerca CMA (és un grup de recerca de la Universitat de Lleida, ubicat en el campus d'Agrònoms).

Aquest centre conté dos màquines, accionades elèctricament, la funció de les quals es imitar la PTO del tractor.

Figura 1.63. Imitador de la PTO del tractor d'11 kW.

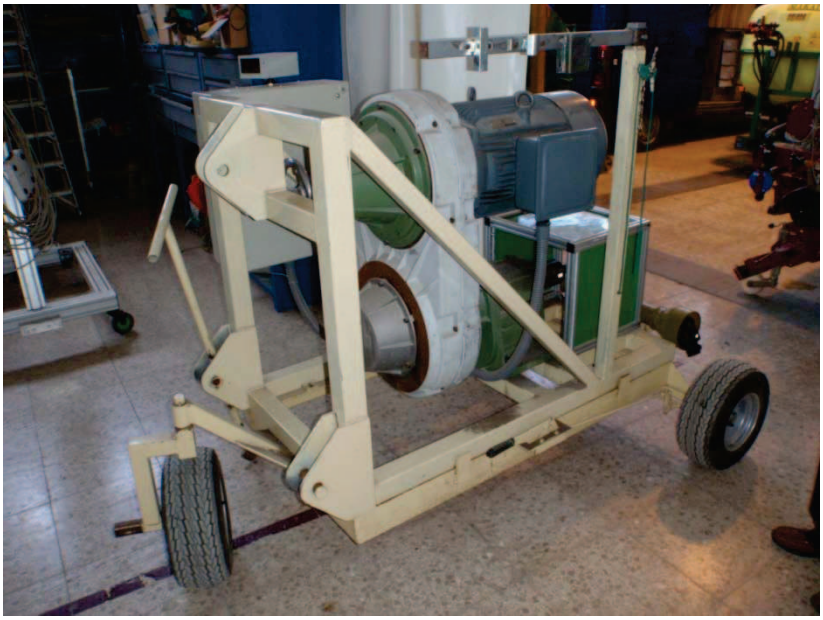


Figura 1.64. Imitador de la PTO del tractor de 30 kW.

Les potencies d'aquestes màquines son de 11 kW la primera, i de 30 kW la segona.

Les dos màquines estan formades pels mateixos elements, però dimensionats segons la potencia a transmetre.

Aquestes màquines estan formades pels següents elements:

- motor elèctric de CA trifàsic
- Variador mecànic LENZE
- Multiplicador de velocitat
- Display per indicar la velocitat angular a la que gira l'eix de sortida del multiplicador, La velocitat angular es expressada en [min^{-1}]

Figura 1.65. Placa de característiques del variador mecànic del imitador de la PTO del tractor d'11 kW.

En la figura 1.64 es pot apreciar el rang de velocitat que et permet el variador mecànic, en aquest cas de 836 min^{-1} a 188 min^{-1}, per això es necessita un multiplicador a la sortida, perquè la funció d'aquesta màquina es imitar la PTO del tractor, és a dir, que la velocitat angular a la sortida del multiplicador ha de ser 540 min^{-1} i 1000 min^{-1} segons el tipus de màquina a assajar.

Per aquest cas en concret, incorpora un variador mecànic en comptes d'un reductor amb una relació de transmissió fixa, per poder variar la velocitat de sortida de la màquina.

També es va observar un banc de proves que tenen en les seves instal·lacions .

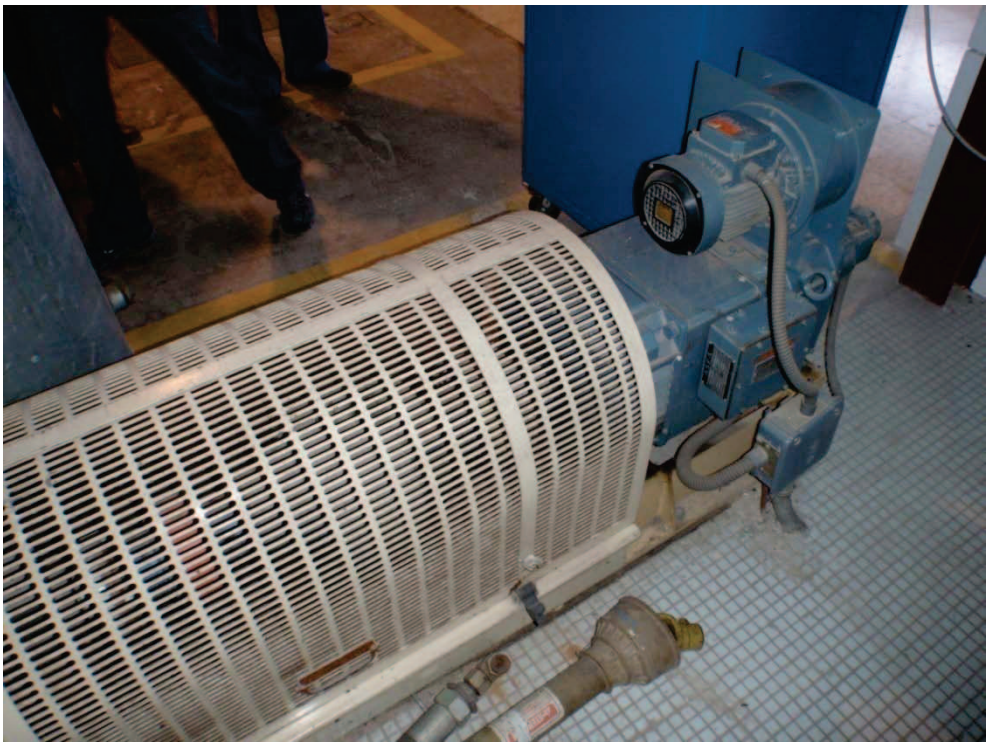


Figura 1.66. Banc de proves de 29 kW.

Aquest banc està format per un motor de CC de 29 kW, amb un sensor de parell dinàmic de tipus sense contacte, on la mesura del parell es realitza mitjançant un transformador.

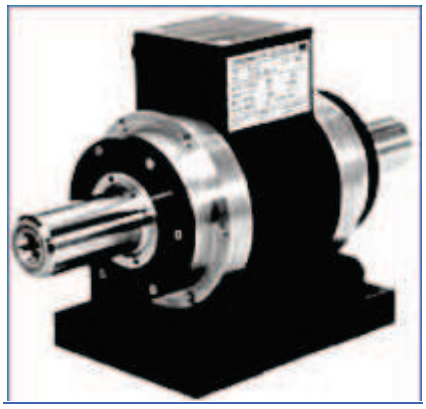


Figura 1.67. Sensor de parell amb transformador.

Aquests tipus de sensors tenen una precisió molt bona, semblant a la dels sensors tipus flat, però tenen l'inconvenient que la seva longitud amb respecte els sensors tipus flat es molt superior.
I la velocitat angular es pot obtenir mitjançant el control electrònic del motor, ja que en els motor de CC, la tensió es proporcional a la velocitat angular a la que gira l'eix del motor.

També es va observar els arbres de transmissió utilitzats en aquest banc.

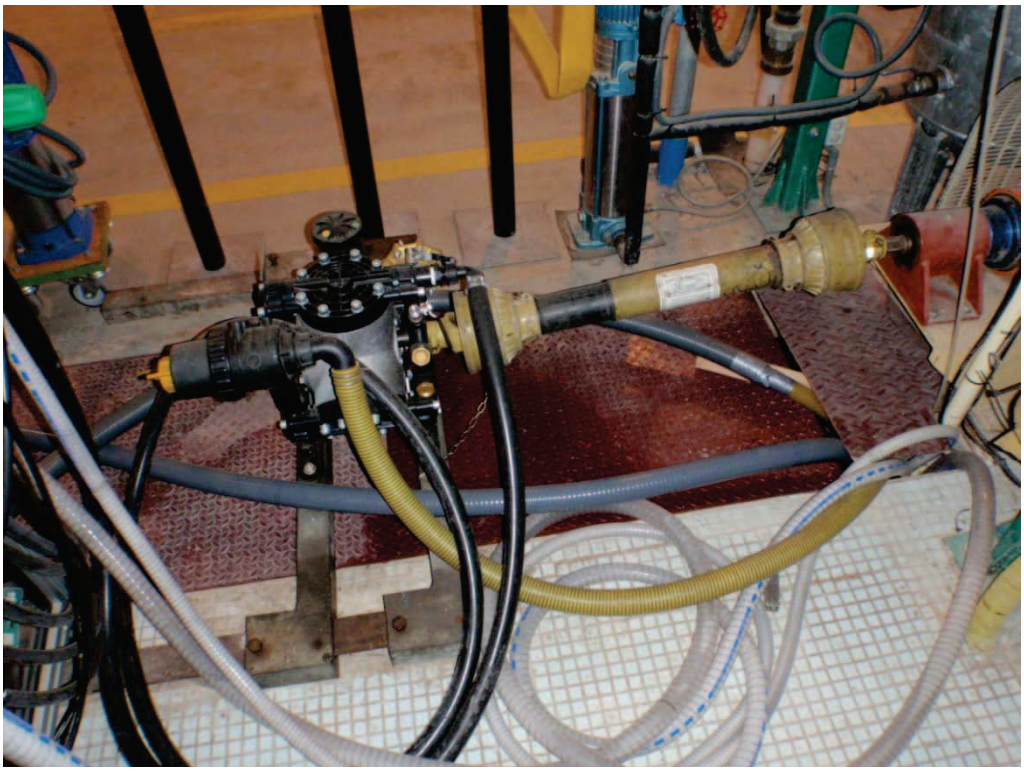


Figura 1.68. Muntatge del banc de proves.

Com es pot observar en la figura 1.66, els arbres de transmissió utilitzats son arbres de transmissió amb juntes cardan simples als dos costats.

1.5. Normes i Referències

1.5.1. Disposicions legals i normes aplicades

Directives que compleix el motor ABB de CC

CEM 89 / 336 / CEE → marcat CEE

73 / 23 / CEE i 93 / 68 / CEE → Tensió

89 / 392 / CEE → Màquines

Normatives de la instal·lació

Real Decreto 486/1997, de 14 d'abril, sobre condicions dels llocs de treball.

Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre el soroll en llocs de treball.

Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, senyalització en llocs de treball.

Real Decreto 842 / 2002 → Reglament de baixa tensió

Real Decreto 1495 / 1986 → Reglament de seguretat en la màquina

Real Decreto 1580 / 2006 → Reglament de compatibilitat electromagnètica

1.5.2. Bibliografia

- ORTIZ – HERNANZ, "Técnica de la mecanización agrária", Ed. Mundi-Prensa.
- SMITH – SIMS – O'NEILL, " Testing and evaluation of agricultural machinery and equipment", FAO Agricultural Engineering Service.
- JOSÉ ROLDAN, " Motores eléctricos: aplicación industrial", Ed. Paraninfo.
- ROBERT L. NORTON, "Diseño de maquinaria: una introducción a la sintesis y al anàlisis de mecanismos y maquinas", McGraw-Hill.
- Salvador Cardona, "Teoria de màquines", ETSEIB.CPDA.

1.5.3. Programes de càlcul

- Microsoft Excel 2007

1.5.4. Altres referències

- Engine testing DYNOmite
  www.land-and-sea.com

- Frens dinamomètrics Tecner
  www.tecner.com

- Frens dinamomètrics i bancs d'assaig Api Com
  www.api-com.it

- Frens dinamomètrics Dynesystems
  www.dynesystems.com

- Frens dinamomètrics AVL
  www.avl.com

- Instrumentació i Frens dinamomètrics Elektrodyne
  www.elektrodyne.com

- Fabricant de frens elèctrics Frenelsa
  www.frenelsa.es

- Sensors de parell i de velocitat angular MAGTROL
  www.magtrol.com

- Sistemes antivibració Egaña
  www.egaña.com

- Sistemes de subjecció BROOKS
  www.eye-bolts.co.uk

- Elements de fixació
  www.albertsoler.com

- Motors i convertidors de CC ABB
  www.abb.es

- Motors CEG
  www.collvilaro.com/ceg.htm

- Motors Electro Adda
  www.electroadda.it

- Bancs d'assaigs Gunt
  www.gunt.de

- Arbre de transmissió i accessoris Elbe
  www.elbe-group.de

- Reductors Sew-eurodrive
  www.eurodrive.es

- Reductors Tecnotrans
  www.tecnotrans.com

- Reductors Sumitomo
  www.sumitomo.com

- Tubs estructurals
  www.stalatube.com

- Tubs estructurals
  www.hiecal.com

1.6. Definicions i abreviacions

1.6.1. Definicions

Definicions

P_e	[kW]	Potència efectiva.
P_{ent}	[kW]	Potència d'entrada.
P_{sort}	[kW]	Potència de sortida.
P_c	[kW]	Potència consumida.
η	[-]	Rendiment total.
M	[Nm]	Parell.
ω	$[^{rad}/_{s}]$	Velocitat angular.
n	$[min^{-1}]$	Velocitat angular.
i	[-]	Relació de transmissió.

Definicions en els càlculs de les corbes característiques dels motors de CC

U_n	[V]	Tensió d'alimentació en els borns del rotor.
R	[Ω]	Resistència elèctrica equivalent en borns del rotor.
C_t	$[^{Nm}/_{A}]$	Constant de parell.
M_n	[Nm]	Parell nominal del motor.
ω_n	$[^{rad}/_{s}]$	Velocitat angular de l'eix del motor.

1.6.2. Abreviacions

PMS: Punt mort superior.

PMI: Punt mort inferior.

RD: Reial Decret.

ISO: International Organization for Standardization.

CA: Corrent altern.

CC: Corrent continu.

IEC: International Electrotechnical Commission.

IVA: Impost sobre el valor afegit.

PTO: Power take-off.

1.7. Especificacions del banc d'assaig

1.7.1. Paràmetres de mesura

Abans de realitzar el disseny del banc d'assaig segons els objectius definits en l'apartat 1.2, cal analitzar i definir els requisits de mesura que haurà de poder realitzar el banc d'assaig a dissenyar. El disseny del banc d'assaig s'adaptarà el millor possible per poder complir amb els requisits de disseny. A continuació s'anomenen els paràmetres característics que serviran per poder realitzar el banc d'assaig de màquines rotatives utilitzades en maquinària agrícola.

Els paràmetres de mesura variaran segons el tipus de maquina a assajar.

1.7.1.1. Motors

El que es pretén amb l'assaig de motors es trobar la potencia mecànica efectiva del motor i el parell que aquest pot subministrar a una determinada velocitat angular.

- Potencia efectiva.

La potencia efectiva es aquella que genera l'eix de sortida o cigonyal pel fet de girar a unes determinades revolucions del motor i exercir un parell de forces anomenat parell del motor. El parell del motor l'esforç de gir aconseguit. Aquest esforç de gir es pot aconseguir de diverses maneres, segons el tipus de motor, com per exemple en el motors de combustió interna s'aconsegueix gràcies a l'aplicació de la força d'explosió i a la seva transmissió al colze del cigonyal.

$$P_e[W] = \omega \cdot M \qquad \text{(Equació 1.4)}$$

On:

P_e = Potencia efectiva [W]

ω = Velocitat angular de l'eix motor [$^{rad}/_{s}$]

M = Parell motor [Nm]

També es pot expressar de la següent manera:

$$P_e\,[kW] = \frac{2\cdot\pi\cdot M\cdot n}{60\cdot 1000} \qquad \text{(Equació 1.5)}$$

On:

P_e = Potencia efectiva [kW]

M = Parell motor [Nm]

n = Velocitat angular de l'eix motor [min^{-1}]

Per tant, per poder trobar la potencia efectiva que produeix el motor, s'ha de mesurar les següents variables:

- Parell motor (M)
- Velocitat angular de l'eix motor (ω o n)

1.7.1.2. Transmissions mecàniques

En l'assaig de transmissions el que es pretén és trobar el rendiment entre l'entrada i la sortida de la mateixa. Per realitzar aquest assaig es té que muntar un sensor de parell i de velocitat angular a l'entrada de la transmissió i un altre a la sortida de la mateixa. D'aquesta manera es pot trobar el rendiment de la transmissió en diversos punts de funcionament.

$$P_{ent}\,[kW] = \frac{2\cdot\pi\cdot M_{ent}\cdot n_{ent}}{60\cdot 1000} \qquad \text{(Equació 1.6)}$$

On:

P_{ent} = Potencia d'entrada a la transmissió [kW]

M_{ent} = Parell subministrat a l'entrada de la transmissió [Nm]

n_{ent} = Velocitat angular de l'eix d'entrada a la transmissió [min^{-1}]

$$P_{sort}\,[kW] = \frac{2\cdot\pi\cdot M_{sort}\cdot n_{sort}}{60\cdot 1000} \qquad \text{(Equació 1.7)}$$

On:

P_{sort} = Potencia de sortida de la transmissió [kW]

M_{sort} = Parell que realitza l'eix de sortida de la transmissió [Nm]

n_{sort} = Velocitat angular de l'eix de sortida de la transmissió [min^{-1}]

$$\eta\,[\%] = \frac{P_{sort}}{P_{ent}}\cdot 100 \qquad \text{(Equació 1.8)}$$

On:

η = Rendiment de la transmissió [%]

P_{sort} = Potencia de sortida de la transmissió [kW]

P_{ent} = Potencia d'entrada a la transmissió [kW]

La majoria de transmissions que es provaran en el banc d'assaig seran transmissions sense lliscament, com per exemple reductors, transmissions per corretges dentades, etc. En aquests casos hi ha una relació constant entre ω_{ent} i ω_{sort}, que correspon a la relació de reducció i. Per tant en aquests casos es pot fer el següent plantejament:

$$\eta\,[\%] = \frac{P_{sort}}{P_{ent}}\cdot 100 = \frac{M_{sort}\cdot\omega_{sort}}{M_{ent}\cdot\omega_{ent}}\cdot 100 = \frac{M_{sort}}{M_{ent}}\cdot\frac{1}{i}\cdot 100 \rightarrow$$

$$\eta\,[\%] = \frac{M_{sort}}{M_{ent}\cdot i}\cdot 100 \qquad \text{(Equació 1.9)}$$

On:

η = Rendiment de la transmissió [%]

P_{sort} = Potencia de sortida de la transmissió [kW]

P_{ent} = Potencia d'entrada a la transmissió [kW]

ω_{ent} = Velocitat angular de l'eix d'entrada a la transmissió [$^{rad}/_{s}$]

ω_{sort} = Velocitat angular de l'eix de sortida de la transmissió [$^{rad}/_{s}$]

i = relació de reducció

1.7.1.3. Màquines accionades rotatives (màquines que consumeixen potencia mecànica)

En l'assaig de màquines accionades el que interessa determinar és el parell requerit per accionar-les i la velocitat de rotació. El producte d'ambdues magnituds és la potència consumida per la màquina.

$$P_c[W] = \omega \cdot M \quad \text{(Equació 1.10)}$$

On:

P_e = Potencia efectiva [W]

ω = Velocitat angular de l'eix motor [$^{rad}/_{s}$]

M = Parell motor [Nm]

També es pot expressar de la següent manera:

$$P_c[kW] = \frac{2 \cdot \pi \cdot M \cdot n}{60 \cdot 1000} \quad \text{(Equació 1.11)}$$

On:

P_c = Potencia efectiva [kW]

M = Parell [Nm]

n = Velocitat angular [min^{-1}]

Per tant, per poder trobar la potencia consumida per les màquines accionades, s'ha de mesurar les següents variables:

- Parell a l'eix d'entrada de la màquina (M)
- Velocitat angular de l'eix d'entrada de la màquina (ω o n)

1.7.2. Resums dels paràmetres de mesura

En la següent taula es resumeixen les variables que intervenen en els assiags a realitzar amb el banc que es vol dissenyar.

Tipus d'assaig	Paràmetres de mesura	Variables Requerides
Assaig de motors	Potència efectiva	- Parell motor - Velocitat angular del motor
Assaig de transmissions	Potència d'entrada	- Parell de l'eix d'entrada - Velocitat angular de l'eix d'entrada
	Potència de sortida	- Parell de l'eix de sortida - Velocitat angular de l'eix de sortida
	Rendiment	- Potencia d'entrada - Potencia de sortida
	Rendiment en transmissions sense lliscament	- Potencia d'entrada - Potencia de sortida ---------- -Parell de l'eix d'entrada -Parell de l'eix de sortida -Relació de reducció
Assaig de maquines accionades rotatives	Potència consumida	-Parell de l'eix d'entrada - Velocitat angular de l'eix d'entrada

Taula 1.3. Paràmetres de mesura, per l'anàlisi de màquines i transmissions rotatives.

1.7.3. Anàlisi dels rangs de potència en els elements a assajar.

En les taules 1.4, 1.5 i 1.6 es mostren la potencia, parell i velocitat angular de diverses màquines utilitzades en maquinària agrícola.

En la taula 1.4 s'ha realitzat una busqueda de la velocitat angular de funcionament i parell que poden subministrar diversos tipus de tractors i motors hidràulics. Aquesta informació s'ha extret de models existents en el mercat.

En les taules 1.5 i 1.6 s'ha realitzat una busquedade la velocitat angular de funcionament i dels rangs de parell que poden consumir diferents tipus de maquines accionades per mitja de la PRO. L'informació ha set extreta de fabricants de diferents tipus de maquinaria agricola accionada per mitjà de la PTO.

			POTENCIA		VEL de GIR		PARELL [Nm]		
MAQUINA	**COMPONENT O TIPUS**	**TIPUS D'ACCIONAMENT**	**POTENCIA [CV]**	**POTENCIA [kW]**	**[min-1]**	**[rad/s]**	**MIN**	**MAX**	**FABRICANT**
MÀQUINES SUBMISTRADORES DE POTÈNCIA MECÀNICA									
Tractors	Tractors compactes	motor de gasoil	17	70	12,5	51,5	2800	293,2	49,8	211	JOHN DEERE
	Tractors fruiters	motor de gasoil	56	95	41,2	69,9	2500	261,8	197	333	JOHN DEERE
	Tractors estàndard	motor de gasoil	56	180	41,2	132,5	2200	230,4	197	828	JOHN DEERE
	Tractors de potencia elevada	motor de gasoil	190	388	139,8	285,6	2100	219,9	859	1791	JOHN DEERE
Motors hidràulics		hidràulic	11,5	66,6	8,5	49	1000	104,7	55,00	2660	PARKER

Taula 1.4. Característiques de les màquines subministradores de potencia mecànica.

			POTENCIA		VEL de GIR		PARELL [Nm]		
MAQUINA	**COMPONENT O TIPUS**	**TIPUS D'ACCIONAMENT**	**POTENCIA [CV]**	**POTENCIA [kW]**	**[min-1]**	**[rad/s]**	**MIN**	**MAX**	**FABRICANT**
MÀQUINES CONSUMIDORES DE BAIXA POTÈNCIA									
Abonadores		PTO	4	7	2,9	5,2	540	56,5	52,1	91,1	
Atomitzadors	bombes de membranes	PTO	4,1	7,3	3	5,4	540	56,5	53,1	95,5	MAKATO
	bombes de pistons	PTO		14,5		10,7	540	56,5		189	MAKATO
	ventiladors	PTO	24,5	29,9	18	22	1000	104,7	172	210	ILEMO - HARDI
Bombes d'aigua		PTO		8,2		6	540	56,5		106	HERTELL
Compressors de poda		PTO	4	7,5	2,9	5,5	540	56,5	52,1	97,6	MAKATO
Espolvoritzadors		PTO	4	7	2,9	5,2	540	56,5	52,1	91,1	KUHN
Inoculador de llaors		Motor elèctric		3							FAMET
Nebulitzadors	bombes hidràuliques arrastrats	PTO		19,0		14	540	56,5		248	TEYME
	bombes hidràuliques suspesos	PTO		7,5		5,5	540	56,5		97,3	TEYME
Rastrells	filedadors suspesos	PTO	20,4	35,3	15	26	540	56,5	265	460	KUHN

Taula 1.5. Característiques de les màquines consumidores de baixa potència.

MAQUINA	COMPONENT O TIPUS	TIPUS D'ACCIONAMENT	POTENCIA [CV]	POTENCIA [kW]	VEL de GIR [min-1]	VEL de GIR [rad/s]	PARELL [Nm] MIN	PARELL [Nm] MAX	FABRICANT
MÀQUINES CONSUMIDORES D'ALTA POTÈNCIA									
Bombes hidràuliques		PTO	2,7	108,7	2	80	540	56,5	35,4	1415	PARKER
Cubes de purí	depressors	PTO	10,9	38	8	28	540	56,5	141	495	HERTELL
Empacadores gegants		PTO	85	120	62,6	88,3	1000	104,7	597	843	NEW HOLLAND
Fresadores	de 1,26m a 2,3m	PTO	9,5	58,4	7	43	540	56,5	124	760	KUHN
Grades giratòries	rígides	PTO	50,3	110,1	37	81	1000	104,7	353	773	KUHN
	plegables	PTO	110,1	149,5	81	110	1000	104,7	773	1050	KUHN
Mescladores	mòbils	PTO	60	125	44,2	92	540	56,5	781	1627	KUHN
Molins de gra	mòbils	PTO	18,0	150,0	13,2	110	540	56,5	234	1952	AGREX
Rastrells	filedadors semissuspesos	PTO	67,9	95,1	50	70	540	56,5	884	1238	KUHN
Rotoempacadores	cambra de premsat fixa	PTO	70,7	99,2	52	73	540	56,5	920	1291	JOHN DEERE
	cambra de premsat variable	PTO	46,2	70,7	34,0	52	540	56,5	601	920	JOHN DEERE
Segadores	de plec vertical	PTO	28,5	55,7	21,0	41	540	56,5	371	725	KUHN
	acondicionadores arrastrades	PTO	69,3	89,7	51,0	66	540	56,5	902	1167	KUHN
	acondicionadores triples	PTO	169,8	231,0	125,0	170	1000	104,7	1194	1623	KUHN
Trituradores	vinyers i fruitals	PTO	39,4	63,9	29	47	540	56,5	513	831	KUHN
	residus de cultiu	PTO	29,9	129,1	22	95	540/ 1000	56,6/ 104,7	389	907	KUHN
Vibradors	bomba hidràulica	PTO		70		51,5	540	56,5		911	TOPAVI

Taula 1.6. Característiques de les màquines consumidores d'alta potència.

1.7.4. Punts de funcionament del banc

A partir de l'estudi de les potencies de motors, transmissions i màquines s'han determinat les següents zones de funcionament que es vol assajar:

- 540 rpm (per màquines accionades amb PTO a baixa velocitat)
- 1000 rpm (per màquines accionades amb PTO a alta velocitat)
- 2200-2600 rpm (assaig de motors de combustió interna aplicats en maquinària agrícola o motors elèctrics de regim similar)
- Fins a 2000 Nm (assaig de transmissions)

Aquests punts de funcionament delimiten l'elecció dels diferents components que s'han d'instal·lar en el banc.

1.7.5. Màquines a assajar en el banc i potencia màxima d'assaig

En cada cas, s'ha d'estudiar per cada tipus de màquina, si realment té interès realitzar l'assaig en el banc de proves o millor fer-ho en el camp, perquè hi han certes variables d'estudi que en el banc de proves no intervenen, com poden ser:

2. El tipus de sòl
3. L'estat del sòl
4. Profunditat de treball
5. Etc.

Figura 1.69. Tipus de terreny, arenós (esquerra) i argilós (dreta).

En base amb aquestes condicions i l'estudi de les taules 1.4, 1.5 i 1.6. S'ha decidit que la potència màxima del banc de proves serà de **55 kW**.

Una vegada escollida la potencia màxima del banc a partir dels diversos estudis, s'ha de realitzar la classificació de les diferents màquines que es poden assajar en el banc, en el camp o no es poden assajar

Tipus de màquines a assajar	**Màquines a assajar**
Màquines de baixa potencia	- Abonadores - Atomitzadors - Bombes d'aigua - Compressors de poda - Espolvoritzadors - Inoculador de llaors - Nebulitzadors - Rastrells filedadors suspesos
Màquines d'alta potencia que es poden assajar en el banc d'assaig	- Biotrituradores - Depressors de les cubes de purí - Molins de gra - Diversos models de bombes hidràuliques - Diversos models de motors hidràulics - Algun model de tractor

Taula 1.7. Classificació de les diferents màquines segons si es poden assajar en el banc, en proves de camp o simplement no es poden assajar. (part 1)

Tipus de màquines a assajar	Màquines a assajar
Màquines d'alta potencia, on l'assaig es realitza en proves de camp	- Empacadores gegants - Fresadores - Grades giratòries rígides - Grades giratòries flexibles - Mescladores - Rastrells fileradors semisuspesos - Rotoempacadores - Segadores de plec vertical - Segadores acondicionadores arrastrades - Segadores acondicionadores triples - Trituradores de vinyers i fruitals - Trituradores de residus de cultiu
Màquines d'alta potencia, on l'assaig no es pot realitzar	- Alguns models de bombes hidràuliques - Alguns models de motors hidràulics - Diversos models de tractors

Taula 1.7. Classificació de les diferents màquines segons si es poden assajar en el banc, en proves de camp o simplement no es poden assajar. (part 2)

1.8. Anàlisi de solucions dels components comercials

1.8.1. Frens dinamomètrics

1.8.1.1 Comparació de frens

En la taula 1.10 es mostra una comparativa dels diferents tipus de frens, on qualitativament es dona una idea dels punts a favor i en contra de cada tipus de fre. Les característiques són extretes de l'empresa fabricadora de frens DYNOmite.

	Fre Hidràulic d'aigua	**Fre de corrents de Foucault**	**Fre de Fricció**	**Fre-motor CA**	**Fre-motor CC**
Capacitat d'altes potencies	Excel·lent	Bona	Dolenta	Bona	Regular
Capacitat d'alt regim de voltes	Excel·lent	Regular	Bona	Regular	Dolenta
Capacitat d'assaig en baixes voltes	Dolenta	Molt Bona	Excel·lent	Excel·lent	Excel·lent
Estabilitat en el control del règim de voltes	Bona	Molt Bona	Dolenta	Excel·lent	Molt Bona
Resposta al canvi de carrega	Bona	Molt Bona	Dolenta	Excel·lent	Molt Bona
Resposta a través del control via PC	Bona	Excel·lent	Regular	Excel·lent	Molt Bona

Taula 1.8. Comparació dels frens dinamomètrics. (part 1)

	Fre hidràulic d'aigua	Fre de corrents de Foucault	Fre de Fricció	Fre-motor CA	Fre-motor CC
Capacitat de realitzar assaigs de llarga duració	Excel·lent	Excel·lent	Regular	Excel·lent	Bona
Relació potencia/pes	Excel·lent	Regular	Regular	Dolenta	Dolenta
Relació potencia/dimensió	Excel·lent	Regular	Bona	Regular	Dolenta
Refrigeració	Regular	Regular	Dolenta	Excel·lent	Excel·lent
Cost	Bo	Bo	Regular	Dolent	Dolent
Generació d'energia elèctrica	-	-	-	Possible	Possible
Capacitat de fer assaig en mode arrossegat	-	-	-	Si	Si
Manteniment del fre	Excel·lent	Excel·lent	Regular	Excel·lent	Bo

Taula 1.8. Comparació dels frens dinamomètrics. (part 2)

1.8.1.2 Anàlisis dels models

L'elecció d'un fre dinamomètric normalment es bassa amb factors tècnics i factors econòmics. Els factors tècnics fan referència a les necessitats d'assaig derivades de l'absorció de potencia, parell, règim de treball o temps d'assaig que cal que el fre pugui suportar. Altres factors tècnics poden ser la necessitat de sistemes concrets com la possibilitat d'assaig en arrossegament, els quals sols els frens-motors elèctrics poden realitzar. Per l'altra banda el factor econòmic té a veure amb escollir un fre dimensionat

a les necessitats. Un exemple de mal dimensionament, és aquell que tenint un motor de 40 kW s'elegeixi un fre de 400 kW, quan realment pot assajar amb un fre de 50 kW, sent aquest últim força menys costós que el de 400 kW.
El primer pas, es la recerca dels diferents tipus de frens, que puguin absorbir 55 kW, en els diferents punts de funcionament plantejats. A continuació es comenten els frens trobats en el mercat que són aptes per aquesta aplicació.

- Els frens-motor elèctrics tenen l'avantatge que s'impliquen el disseny del banc d'assaig, ja que el mateix motor pot realitzar la feina de fre, a més aquests tipus de frens permeten condicions d'assaig úniques com assaigs a baixes revolucions (al voltant de 0), sistema de regulació de gran resposta, refrigeració per aire, regeneració d'energia elèctrica o capacitat d'assajar el motor amb mode d'arrossegament. No obstant, els frens-motor tenen baixa capacitat d'assaig a règims de revolucions alts, però per l'aplicació que s'ha plantejat en aquest projecte, la capacitat d'aquests frens es suficient.

- Un altre tipus de fre compatible, és el fre de tipus hidràulic que funciona amb aigua del fabricant DYNOmite. Aquest fre estàndard es capaç d'assajar règims d'antre 500 min^{-1} i 7.000 min^{-1}, rang que compren els punts de funcionament plantejats . Excepte l'assaig de transmissió de parell de 2000 Nm, perquè si la potencia plantejada a transmetre en l'assaig son 55 kW, indica que la velocitat angular d'assaig en aquest cas es 262,6 min^{-1}, com es pot apreciar en el següent càlcul:

$$P_a[kW] = \frac{2 \cdot \pi \cdot M \cdot n}{60 \cdot 1000} \rightarrow n\,[min^{-1}] = \frac{P_a \cdot 60 \cdot 1000}{2 \cdot \pi \cdot M} \rightarrow$$

$$n\,[min^{-1}] = \frac{55 \cdot 60 \cdot 1000}{2 \cdot \pi \cdot 2000} = 262{,}6\,min^{-1}$$

On:

P_a= Potència absorbida pel fre [kW]

M= Parell a absorbir [Nm]

n= Velocitat angular d'assaig [min^{-1}]

Per tant, en aquest cas s'ha d'instal·lar un multiplicador abans de l'entrada del fre. Aquesta causa incrementa els costos de l' instal·lació, considerablement.

- Altres frens força utilitzats, son els frens de corrents de Foucault, anomenats també frens de corrents d'Eddy. En el mercat nacional existeixen empreses com Tecner, Frenelsa i Api Com, que ofereixen models de frens refrigerats per aire o aigua amb circuit tancat. Els models que disposa Frenelsa destaquen per ser frens de baix cost degut a la seva senzilla construcció i a la utilització d'un simple sistema de refrigeració per aire. L'inconvenient principal d'aquest frens es la refrigeració, que només es pot realitzar per aire, aquest fet suposa una baixa dissipació de la calor del fre, disminuint la capacitat d'aplicació de carrega a majors temps d'assaigs. En la figura 1.70 es mostra com el parell que pot aplicar disminueix dràsticament en el temps. Amb aquests tipus de frens caldria doncs sobredimesionar la potencia del fre per tal d'evitar problemes d'incapacitat d'assaig al llarg del temps, suposant un sobrecost important.

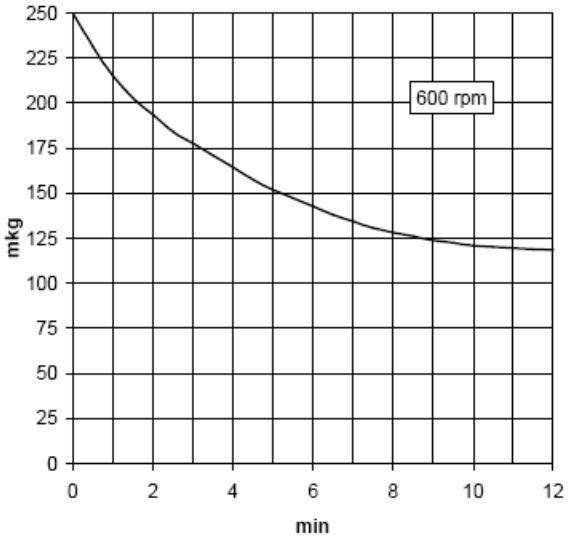


Figura 1.70. Disminució del parell aplicat durant el temps en el fre Frenelsa a 600 min^{-1}.

Per altra part, els frens de corrents de Foucault com els models del fabricant Api Com incorporen un sistema de refrigeració tancat aire-agua, que soluciona els problemes que suposa la refrigeració únicament per aire.

Dins de la gama de frens de Api Com, s'ha trobat el model FR 400, amb una capacitat d'absorbir parell de 2000 Nm, però com es pot observar en les corbes característiques ubicades en el annex 2.2, aquest fre només pot absorbir 2000 Nm entre 1000 i 1500 min^{-1}, per tant no es útil ja que s'ha d'injectar una gran quantitat d'energia per realitzar l'assaig de transmissió de parell a 2000 Nm. Per tant, s'ha de sobredimensionar el fre per poder assajar a una velocitat angular inferior, concretament el model FR 700, que pot absorbir 2000 Nm a 300 min^{-1}. Les corbes característiques d'aquest fre també es pot observar en l'annex 2.2. Tot i així encara s'ha d'injectar una gran quantitat de potencia, segons els següents càlculs:

$$P_a[kW] = \frac{2 \cdot \pi \cdot M \cdot n}{60 \cdot 1000} \rightarrow P_a[kW] = \frac{2 \cdot \pi \cdot 2000 \cdot 300}{60 \cdot 1000} = 62{,}83\ kW$$

On:

P_a= Potència absorbida pel fre [kW]

M= Parell a absorbir [Nm]

n= Velocitat angular d'assaig [min^{-1}]

La potencia a injectar es 62,83 kW, que es superior a la plantejada pel banc, 55kW. Fet que provoca que es tingui que acoblar un multiplicador abans de l'entrada del fre, per reduir la potencia a injectar. Per tant, aquest fet provoca un sobrecost importat de l' instal·lació.

1.8.1.3 Elecció del fre

A partir de l'anàlisi del models fets i la seva comparació finalment s'elegeix el fre de tipus fre-motor, per tant s'ha de realitzar l'estudi de motors per elegir el model comercial. S'elegeix el fre-motor, per les següents raons:

- Per la simplificació de la instal·lació
- Per la gran quantitat de punts de funcionament a assajar
- Per la reducció de components
- Per la possibilitat de regenerar energia elèctrica i injectar-la a la xarxa

1.8.2 Anàlisi del motor

A partir del rang de potencia requerit en l'apartat 1.7.4, s'ha buscat diferents alternatives que el mercat ofereix en motors.

Per conèixer quin es el tipus de motor més interessant des del punt de vista del funcionament i control, s'ha realitzat una taula amb les principals avantatges i inconvenients de cadascun dels diferents tipus de motors.

Tipus de motor	Avantatges	Inconvenients
Motors de combustió interna diesel	- Autonomia molt elevada - Regim de revolucions del motor elevat - Facilitat per variar el regim de revolucions del motor	-Producció de gasos d'escapament - Parell moderat - Manteniment elevat -Precisió baixa alhora de regular el regim de revolucions - Rendiment moderat
Motors de combustió interna de cicle Otto	- Autonomia elevada - Regim de revolucions del motor molt elevat - Facilitat per variar el regim de revolucions del motor	-Producció de gasos d'escapament - Parell baix - Manteniment elevat -Precisió baixa alhora de regular el regim de revolucions - Rendiment baix
Motors elèctrics trifàsics de gàbia d'esquirol de CA	- Motor poc contaminant - Parell molt elevat - Facilitat de connexió a un punt de distribució de la xarxa elèctrica - Rendiment molt elevat - Possibilitat de treballar en el quatre quadrants.	- Motor amb regim de voltes constant - Necessitat d'un variador de freqüència per poder variar el regim de revolucions d'aquest. - Manteniment moderat - Cost molt elevat de l'equip de regulació del motor en els quatre quadrants.

Taula 1.9. Comparativa de diferents tipus de motors. (part 1)

Tipus de motor	Avantatges	Inconvenients
Motors elèctrics brushless	- Motor poc contaminant - Parell molt elevat - Precisió molt elevada en la regulació del regim de revolucions - Facilitat de connexió a un punt de distribució de la xarxa elèctrica -Manteniment pràcticament nul - Rendiment molt elevat	- Necessitat d'un sistema de control del motor molt acurat. - Necessitat d'un encòder o d'un altre element capaç de detectar la posició de gir de l'eix del motor.
Motors de CC	- Motor poc contaminant - Facilitat de connexió a un punt de distribució de la xarxa elèctrica - Facilitat per variar el regim del motor - Precisió elevada en la regulació del regim de revolucions - Facilitat per variar el parell a transmetre - Facilitat per regular amb precisió el parell a transmetre - Rendiment molt elevat - Possibilitat de treballar en els quatre quadrants	- Necessitat d'un rectificador de CA a CC. - Manteniment moderat - Motors poc estàndards - Necessitat d'un sistema de regulació del motor en els quatre quadrants.

Taula 1.9. Comparativa de diferents tipus de motors. (part 2)

A partir dels següents requisits s'escollirà el tipus de motor:

- Motor poc contaminant, ja que d'aquesta manera es redueix la instal·lació necessària, ja que no es necessari la part d'aquesta destinada a l'estracció de fums.
- Al ser una màquina estàtica, no necessita autonomia, sinó facilitat de connexió a un punt de distribució d'energia
- Facilitat i precisió de regulació de la velocitat del motor.

Com s'ha pogut observar els motors de combustió interna no compleixen el requisits plantejats. Per tant només es contemplen alternatives de motors elèctrics, per les característiques tècniques d'aquests, com poden ser: capacitat de variació de carrega del motor, rendiment elevat, motors poc contaminants, facilitat de distribució i consum de l'energia elèctrica i sobretot per la seva capacitat per treballar en els quatre quadrants, és a dir, com motor, fre-generador i fre. Que es una de les característiques que ens és molt útil a l'hora de dissenyar el banc d'assaig, per la gran diversitat de punts de funcionament i de màquines a assajar que s'han plantejat.

L'anàlisi del motor ha set una de les parts mes complertes d'aquest projecte, per aquesta raó l'explicació complerta s'ha realitzat en el Annex 2.1.

En aquest apartat només es realitzarà l'explicació de l'anàlisi del motor de CC, amb una alimentació de 420 V CC.

Primerament s'ha realitzat les gràfiques dels punts de funcionament màxims dels diferents motors del fabricant ABB.

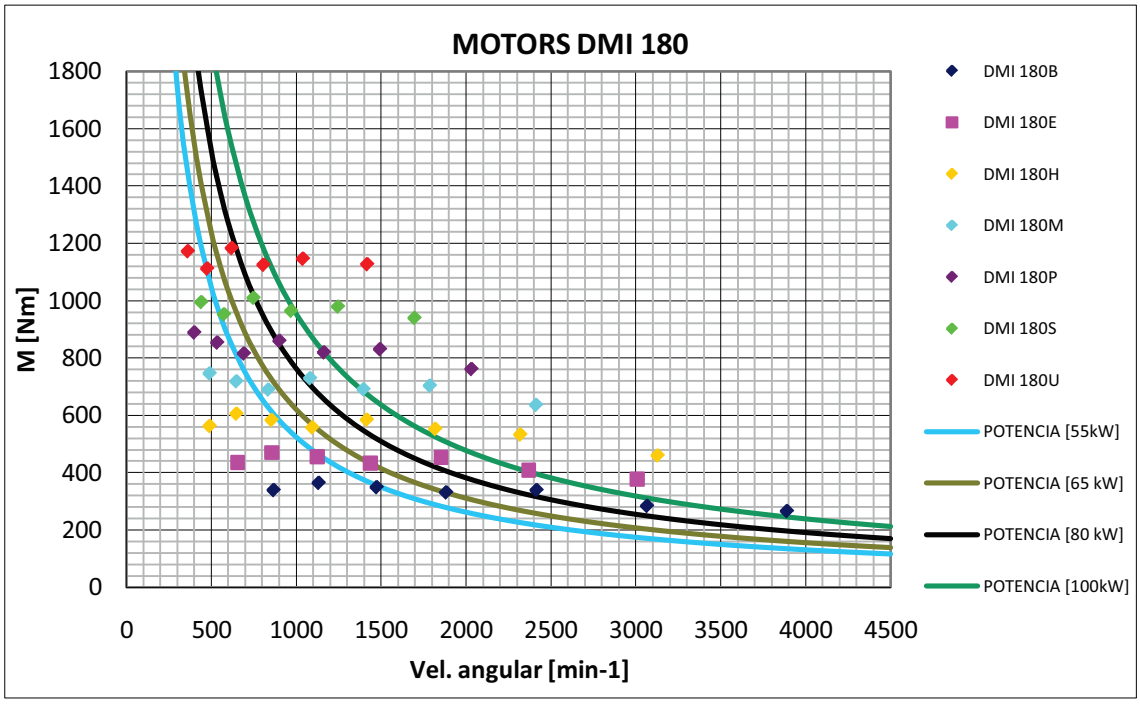


Figura 1.71. Distribució dels motors DMI 180 en el seu punt de funcionament nominal, per una tensió de 420 V CC.

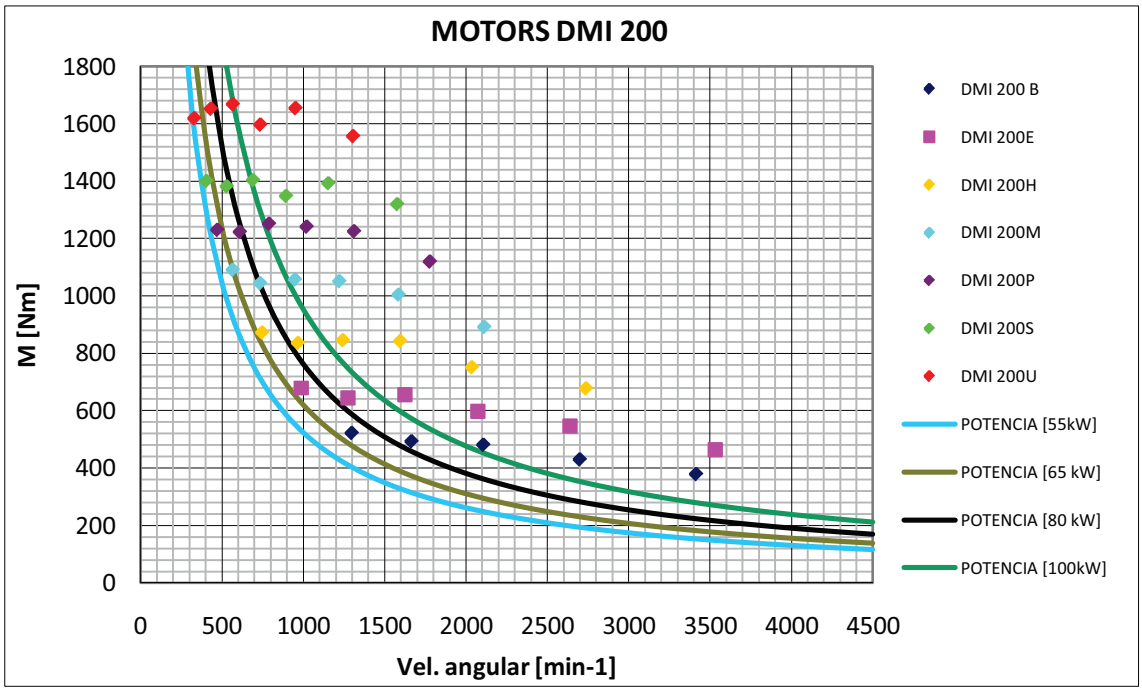


Figura 1.72. Distribució dels motors DMI 200 en el seu punt de funcionament nominal, per una tensió de 420 V CC.

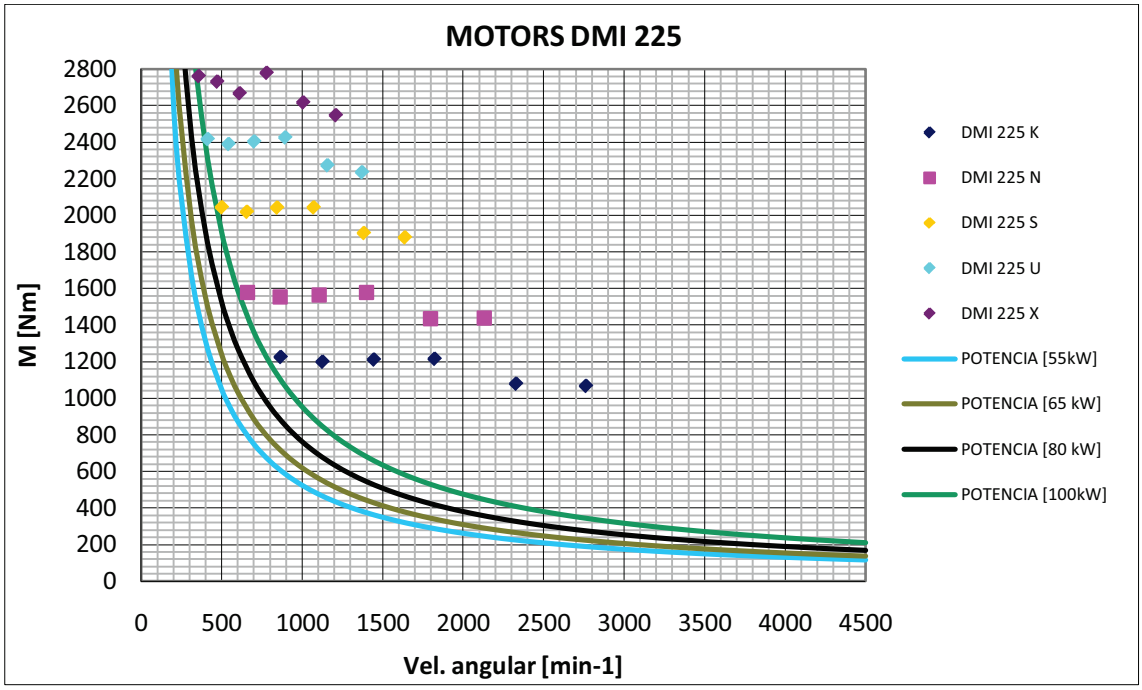


Figura 1.73. Distribució dels motors DMI 225 en el seu punt de funcionament nominal, per una tensió de 420 V CC.

A partir d'aquestes gràfiques, s'escolleixen els motors més interessants pel disseny que es vol realitzar. Els motors a estudiar son motors ràpids, capaços de subministrar com a mínim un parell de 370 Nm. Concretament els models escollits son els següents:

- Motor DMI 180 E (BV)
- Motor DMI 180 H (BO)
- Motor DMI 200 B (EK)
- Motor DMI 200 E (ED)
- Motor DMI 200 H (DU)
- Motor DMI 225 K (FQ)

Normalment els motors comercials d'aquest tipus, només poden treballar en continu molt per sota del teòric parell d'arrencada a tensió nominal, doncs es té una limitació en el corrent que passa pels debanats del rotor, imposada per la temperatura màxima de treball de l'aïllament entre els cables del debanat.

A les següents figures es mostren les corbes característiques dels diferents motors a estudiar per a diferents tensions d'alimentació, essent la tensió nominal màxima d'aquests motors de 815 VCC, encara que en alguns d'aquests models la tensió nominal es inferior. Amb línia continua es mostra el rang de treball permès en continu. Amb discontinua es representa part de la zona on únicament es pot operar en intervals curts de temps, aquesta zona no es d'utilitat en la realització d'aquest projecte, ja que el disseny del banc només està pensat per utilitzar-lo en funcionament nominal.

El càlcul de les corbes característiques es indispensable, per poder trobar la zona de treball dels motors. Per realitzar aquests gràfics primerament s'ha tingut que calcular els diversos punts de funcionament extrems, que es mostren a continuació.

Per tal de determinar la corba característica del motor, es considera el funcionament d'aquest a règim estacionari, a velocitat i parell constants. Si M_n i ω_n són constants. L'equació 1.12 relaciona les condicions de funcionament mecànic amb la tensió d'alimentació.

$$U_n\ [V] = \frac{R}{C_t} \cdot\ M_n + C_t \cdot \omega_n \qquad \text{(Equació 1.12)}$$

On:

U_n = Tensió d'alimentació en els borns del rotor [V]

R = Resistència elèctrica equivalent en borns del rotor, resultat de la resistència dels cables dels debanats, de les escombretes i del contacte entre cables dels debanats, de les escombretes i del contacte entre les escombretes i el col·lector [Ω]

C_t = Paràmetre característic de cada motor que s'anomena constant de parell [$^{Nm}/_{A}$]

M_n= Parell nominal del motor [Nm]

ω_n= Velocitat angular del motor segons la tensió en els borns del rotor [$^{rad}/_{s}$]

A partir de l'equació 1.12 es pot trobar el valor de la constant de parell, de manera que l'equació es transforma de la següent manera.

$$U_n \cdot C_t = \left(\frac{R}{C_t} \cdot M_n\right) \cdot C_t + (C_t \cdot \omega_n) \cdot C_t \quad \rightarrow$$

$$C_t{}^2 \cdot \omega_n - (U_n \cdot C_t) + (R \cdot M_n) = 0 \qquad \text{(Equació 1.13)}$$

D'aquesta equació en resulten dos solucions matemàtiques, però com es evident només hi ha una de lògica.

Solucions matemàtiques:

Primera solució

$$C_t\,[{}^{Nm}/_{A}] = U_n + \sqrt{\frac{U_n{}^2 - 4 \cdot \omega_n \cdot (R \cdot M_n)}{2 \cdot \omega_n}}$$

Segona solució

$$C_t\,[{}^{Nm}/_{A}] = U_n - \sqrt{\frac{U_n{}^2 - 4 \cdot \omega_n \cdot (R \cdot M_n)}{2 \cdot \omega_n}}$$

En aquest cas, només és valida la primera solució matemàtica.

Per obtenir la corba característica del motor per a una tensió d'alimentació determinada s'ha d'aïllar el parell de l'equació 1.13, i s'obté:

$$M_n[Nm] = \frac{C_t}{R} \cdot U_n - \frac{C_t{}^2}{R} \cdot \omega_n \qquad \text{(Equació 1.14)}$$

Mantenint constant la tensió d'alimentació, la corba que defineix el parell motor en funció de la velocitat de gir és una recta de pendent negatiu. El parell és màxim quan la velocitat és nul·la, i el seu valor, $M_{max.}$ es determina amb l'equació 1.15.

$$M_{max}[Nm] = \frac{C_t}{R} \cdot U_n \qquad \text{(Equació 1.15)}$$

Al augmentar la velocitat de rotació, el parell motor disminueix linealment fins arribar a ser nul. En aquest punt es té la velocitat de rotació en buit del motor ω_o, que es pot calcular amb l'equació 1.16.

$$\omega_o[{}^{rad}/_{s}] = \frac{U_n}{C_t} \qquad \text{(Equació 1.16)}$$

Un cop arribat amb aquest punt, es procedeix a la realització de les corbes característiques dels motor per les diferents tensions d'alimentació.

- Motor DMI 180 E (BV)

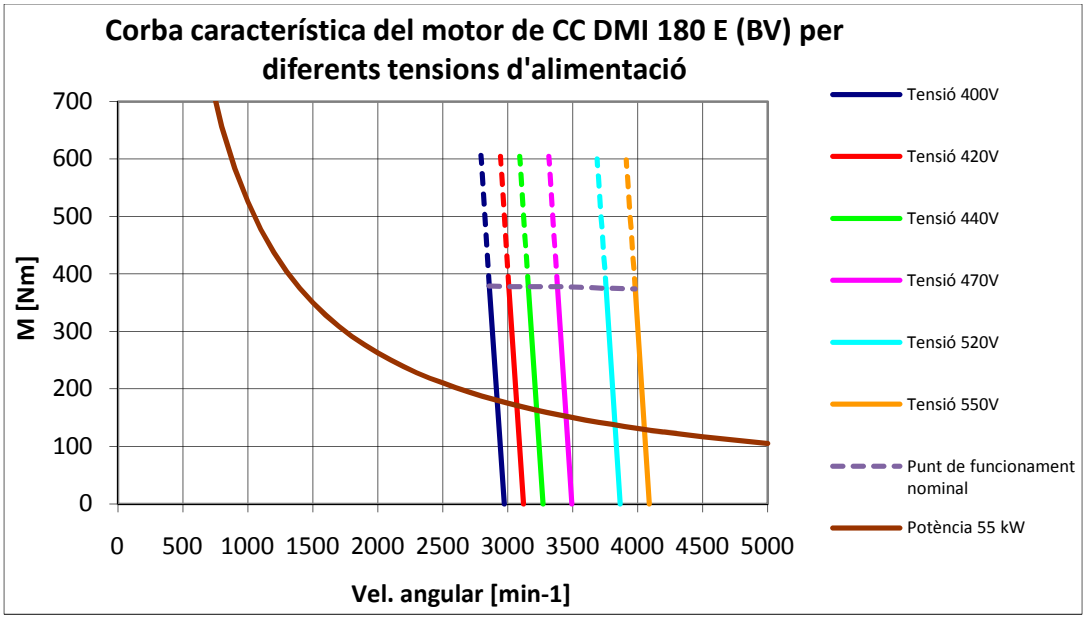


Figura 1.74. Corbes característiques del motor DMI 180E (BV).

- Motor DMI 180 H (BO)

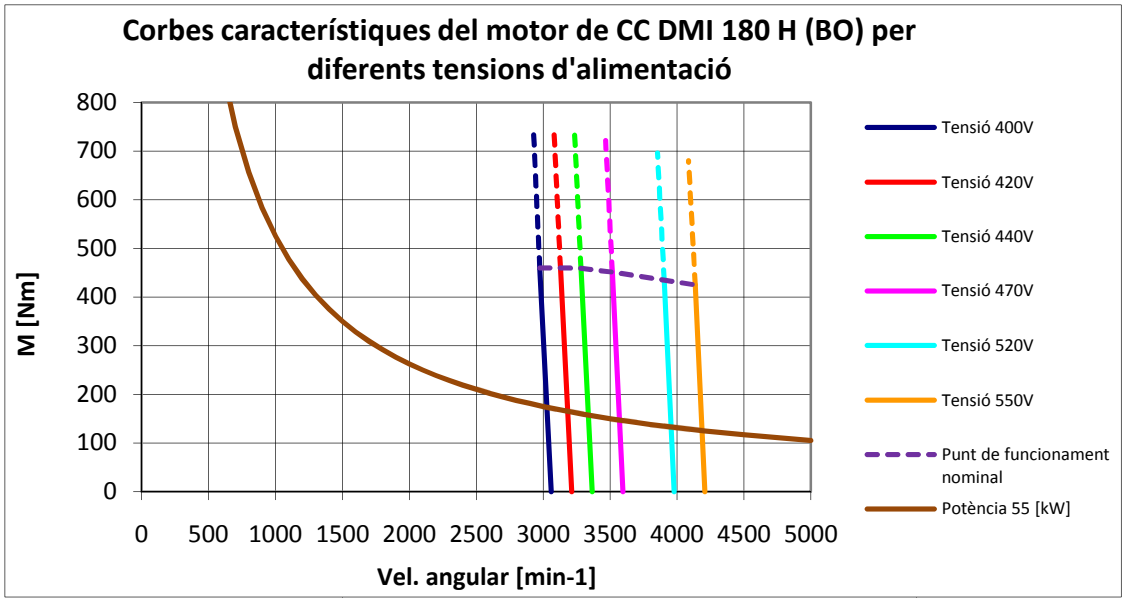


Figura 1.75. Corbes característiques del motor DMI 180H (BO).

- Motor DMI 200 B (EK)

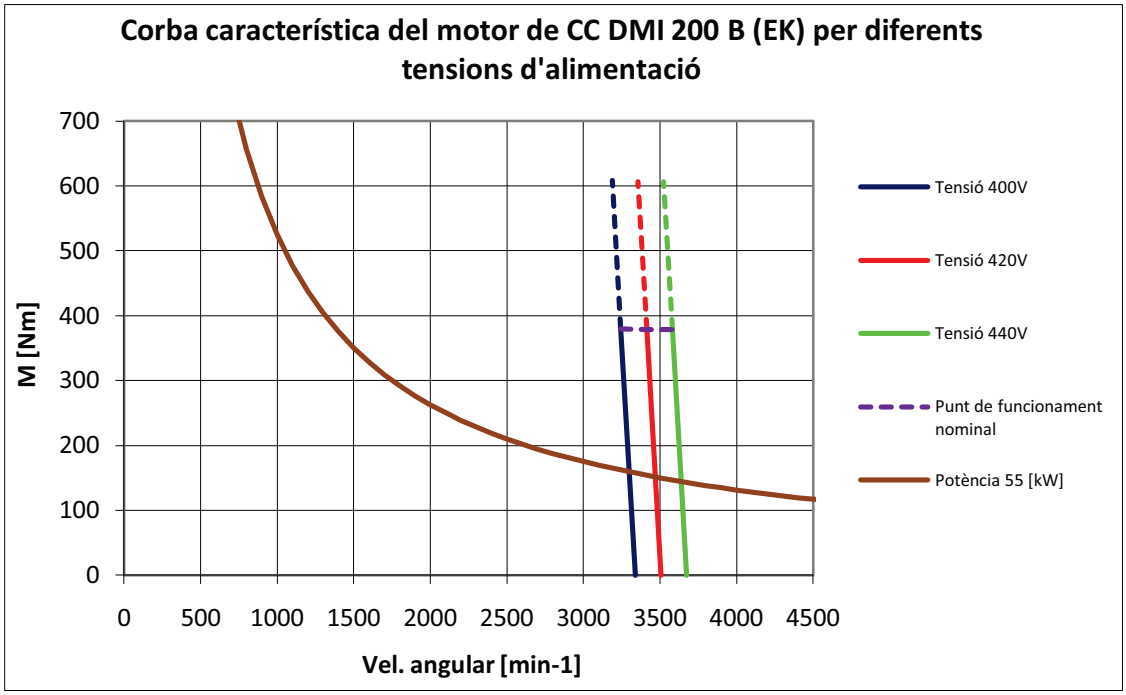


Figura 1.76. Corbes característiques del motor DMI 200B (EK).

- Motor DMI 200 E (ED)

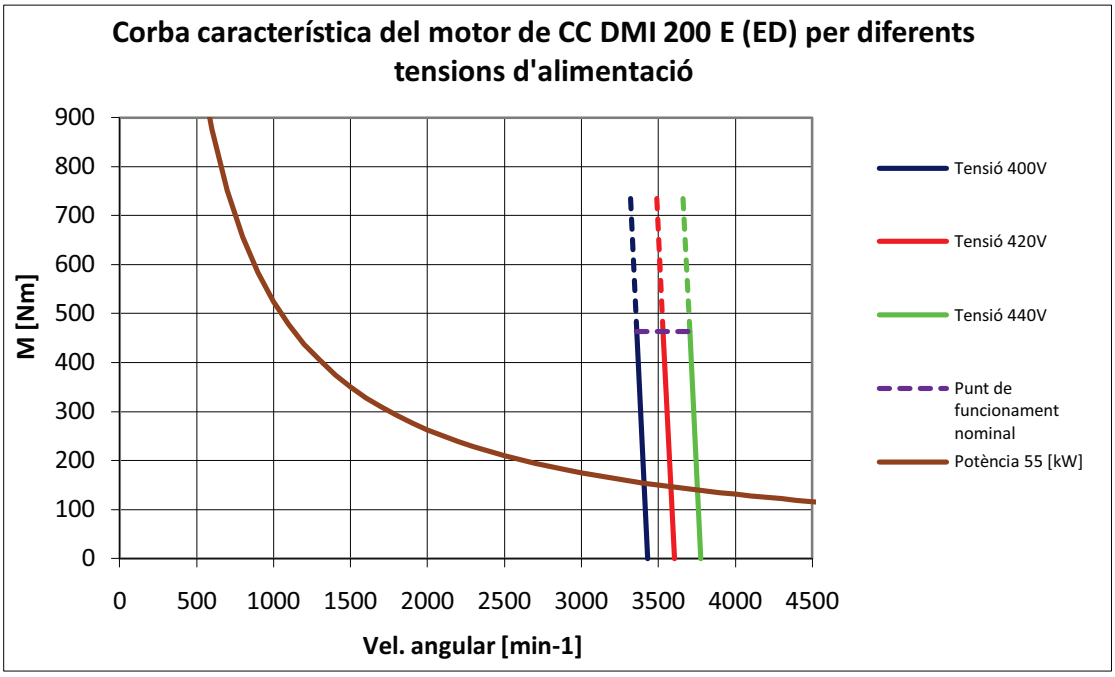


Figura 1.77. Corbes característiques del motor DMI 200E (ED).

- Motor DMI 200 H (DU)

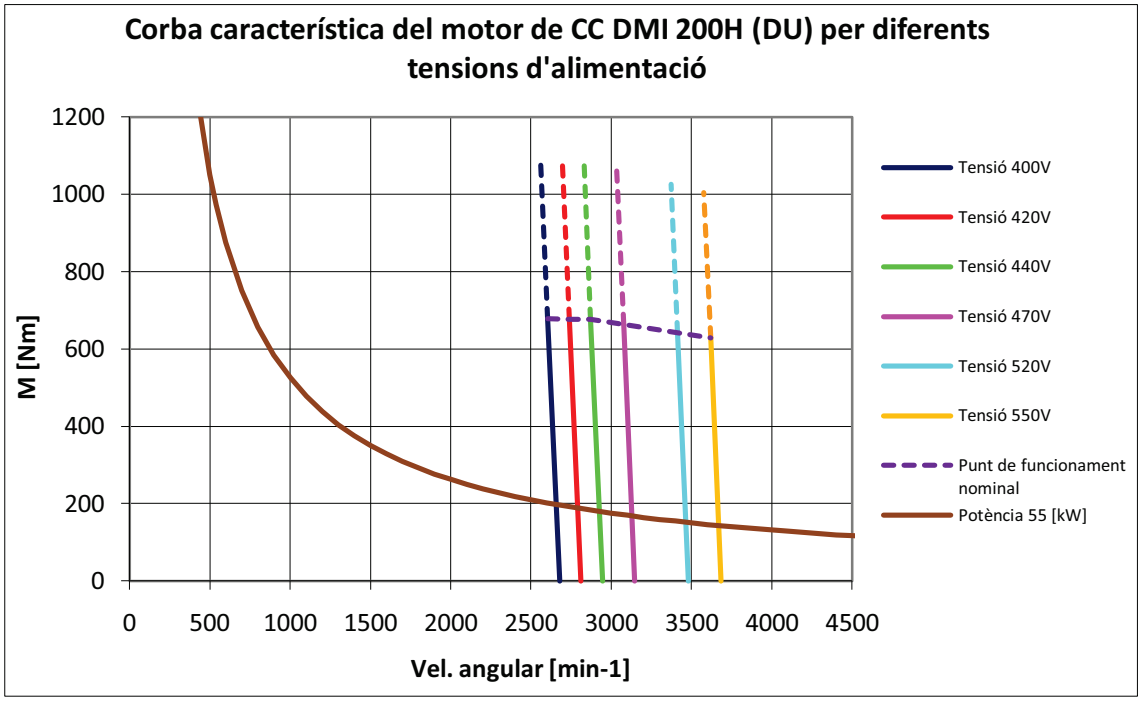


Figura 1.78. Corbes característiques del motor DMI 200H (DU).

- Motor DMI 225 K (FQ)

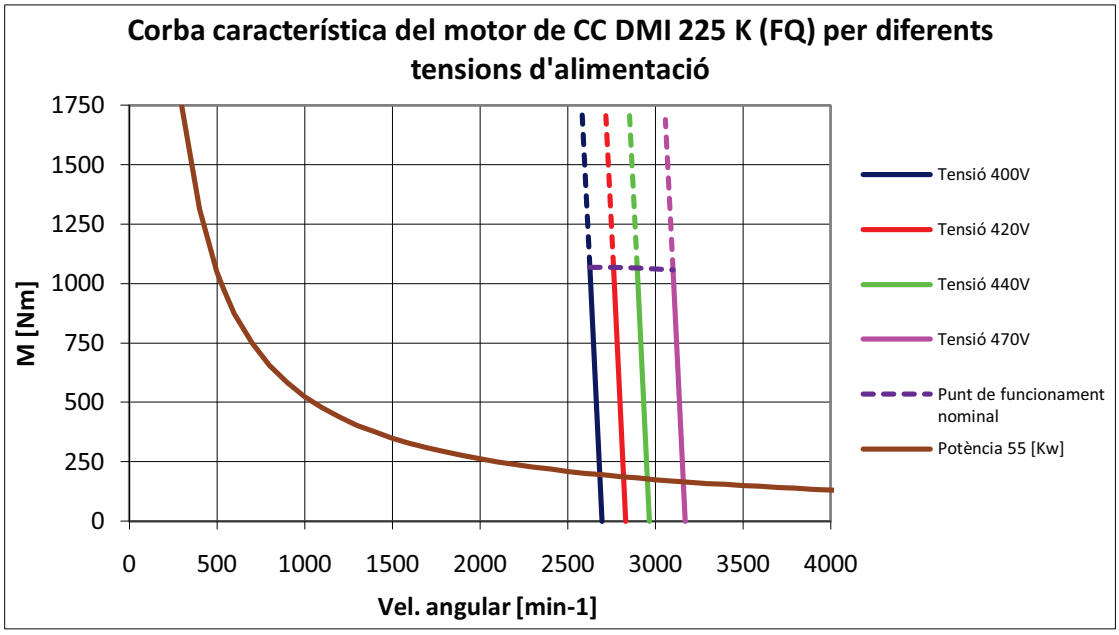


Figura 1.79. Corbes característiques del motor DMI 225K (FQ).

Aquestes corbes son molt útils per veure les diferents zones de funcionament del motor en els quatre quadrants, ja que aquestes corbes son les que delimiten les diferents parts de funcionament del motor.

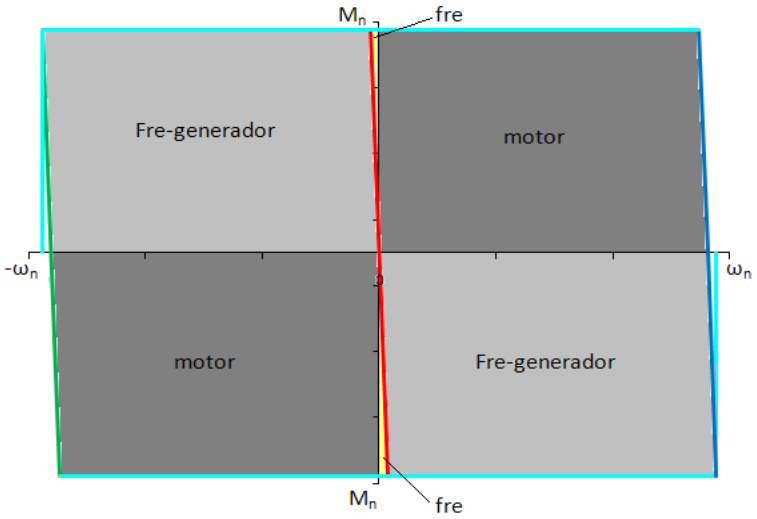


Figura 1.80. Modes de funcionament de la màquina de CC.

En aquest gràfic es mostren els diferents tipus de funcionament del motor ens els quatre quadrants. Com es pot observar en aquest gràfic, el motor té sis modes de funcionament, separats entre ells, per les corbes característiques del motor per diferents tensions d'alimentació. La corba característica blau fort ve determinada per la tensió d'alimentació nominal màxima, la corba característica de color vermell ve determinada per la tensió d'alimentació 0V i per últim la corba característica de color verd ve determinada per la tensió d'alimentació màxima però en valor negatiu.

En aquest punt, cal diferenciar i explicar el funcionament del motor en els diferents modes.

Quan el punt de treball definit per ω i M es troba en el primer quadrant, la màquina proporciona potència mecànica a partir de potencia elèctrica subministrada, per tant funciona com a motor.

Quan el punt de funcionament es troba en el segon quadrant, per a ω negatives i M positius, es poden trobar dos modes de funcionament.

Un mode quan el motor necessita potencia mecànica per poder girar. En aquest cas la màquina te un corrent d'alimentació negatiu (proporcional al parell exercit), indicant

que la màquina està treballant com un generador, subministrant potencia mecànica i proporcionant potència elèctrica.

L'altre mode de funcionament del segon quadrant, es quan la màquina està treballant com a fre, és a dir, quan aquest necessita potencia mecànica per poder girar i quan la tensió d'alimentació es positiva. En aquest cas, la màquina està dissipant potencia mecànica i alhora potencia elèctrica. Aquest mode de funcionament cal evitar-lo, ja que provoca un gran escalfament de la màquina.

Quan el punt de funcionament està en el tercer quadrant, per a ω negatives i M negatius, la màquina funciona com a motor. Simètric però de sentit contrari al mode de funcionament del primer quadrant.

Quan el punt de funcionament està en el quart quadrant, per a ω positives i M negatius, els modes de funcionament son simètrics als del segon quadrant però en sentit contrari.

L'estudi d'aquests motors es realitzarà mitjançant gràfics on es pot observar el funcionament del motor amb parell nominal i el funcionament del motor amb 2 reductors diferents. A continuació es presenta un gràfic explicatiu:

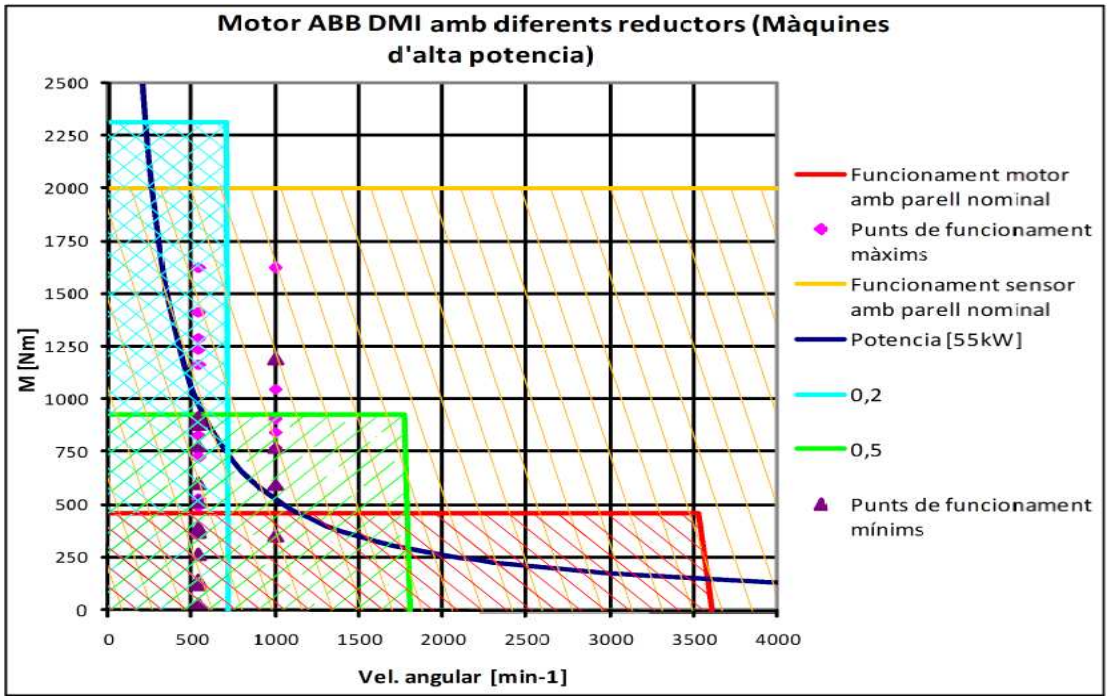


Figura 1.81. Explicació zones de funcionament motors amb reductors.

La franja de color vermell es la zona de funcionament del motor amb parell nominal.

- La franja de color blau fluix es la zona de funcionament del motor amb un reductor , en aquest cas i=[5/1].
- La franja de color verd fluix es la zona de funcionament del motor amb un reductor, en aquest cas i=[2/1].
- La franja de color taronja es la zona de funcionament del sensor de parell tipus flat amb parell nominal
- La corba de color blau fort es la corba de potencia que correspon a 55 kW
- Els punts de color rosa i lila son els punts de funcionament màxims i mínims de diferents màquines agrícoles.

Les màquines que estiguin per sobre de la corba de potencia de 55 kW, són màquines que no es podran assajar en el banc de proves.
S'ha realitzat una taula resum on es pot observar la classificació de les diferents màquines estudiades en aquest projecte, segons si es poden assajar en el banc, si es més útil estudiar-les en proves de camp, o si no es poden assajar.

Tipus de màquines a assajar	**Màquines a assajar**
Màquines de baixa potencia	- Abonadores - Atomitzadors - Bombes d'aigua - Compressors de poda - Espolvoritzadors - Inoculador de llaors - Nebulitzadors - Rastrells filedadors suspesos

Taula 1.10. Classificació de les màquines, segons si es poden assajar en el banc, en proves de camp o no es poden assajar. (Part 1)

Tipus de màquines a assajar	Màquines a assajar
Màquines d'alta potencia que es poden assajar en el banc d'assaig	- Biotrituradores - Depressors de les cubes de purí - Molins de gra - Diversos models de bombes hidràuliques - Diversos models de motors hidràulics - Algun model de tractor
Màquines d'alta potencia, on l'assaig es realitza en proves de camp	- Empacadores gegants - Fresadores - Grades giratòries rígides - Grades giratòries flexibles - Mescladores - Molins de gra - Rastrells fileradors semisuspesos - Rotoempacadores amb cambra de premsat variable - Rotoempacadores amb cambra de premsat fixa. - Segadores de plec vertical - Segadores acondicionadores arrastrades - Segadores acondicionadores triples - Trituradores de vinyers i fruitals - Trituradores de residus de cultiu
Màquines d'alta potencia, on l'assaig no es pot realitzar	- Alguns models de bombes hidràuliques - Alguns models de motors hidràulics - Diversos models de tractors

Taula 1.10. Classificació de les màquines, segons si es poden assajar en el banc, en proves de camp o no es poden assajar. (Part 2)

A continuació s'ha realitzat l'estudi de la zona de funcionament del motor amb dos reductors.

- Motor DMI 180 E (BV)

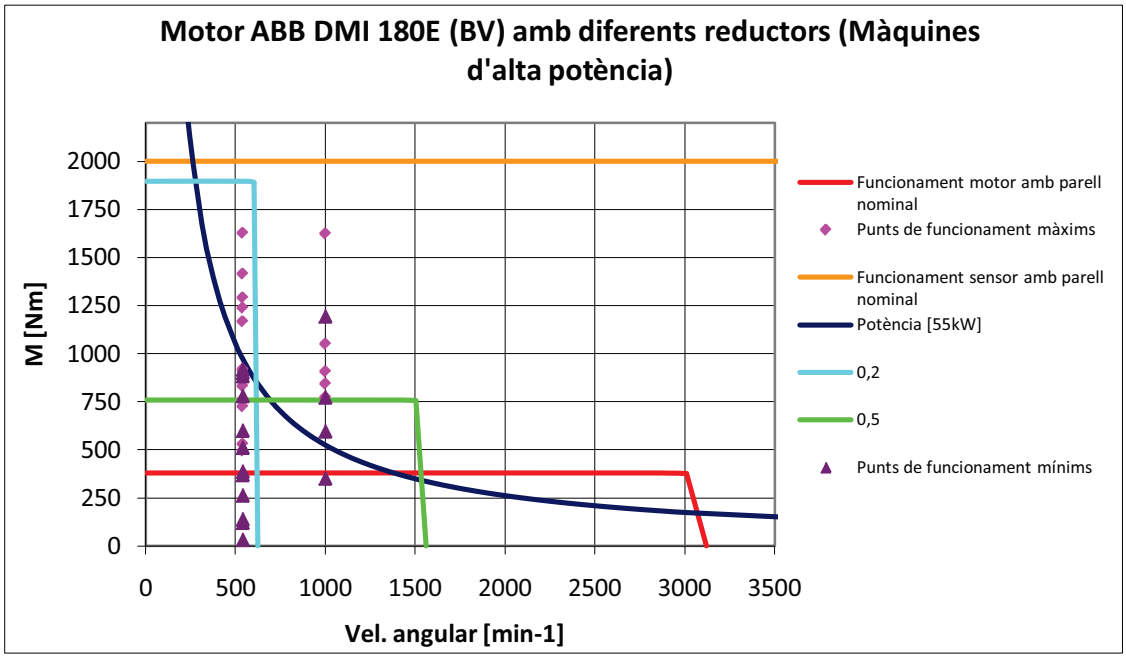


Figura 1.82. Zona de funcionament del motor DMI 180E (BV), sol i amb reductors.

- Motor DMI 180 H (BO)

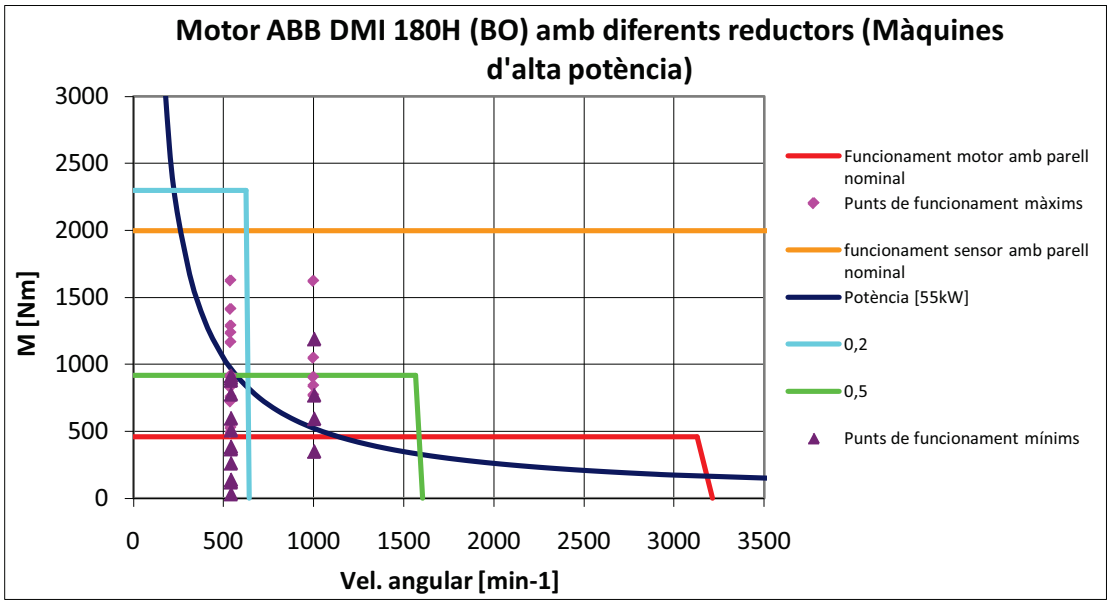


Figura 1.83. Zona de funcionament del motor DMI 180H (BO), sol i amb reductors.

- Motor DMI 200 B (EK)

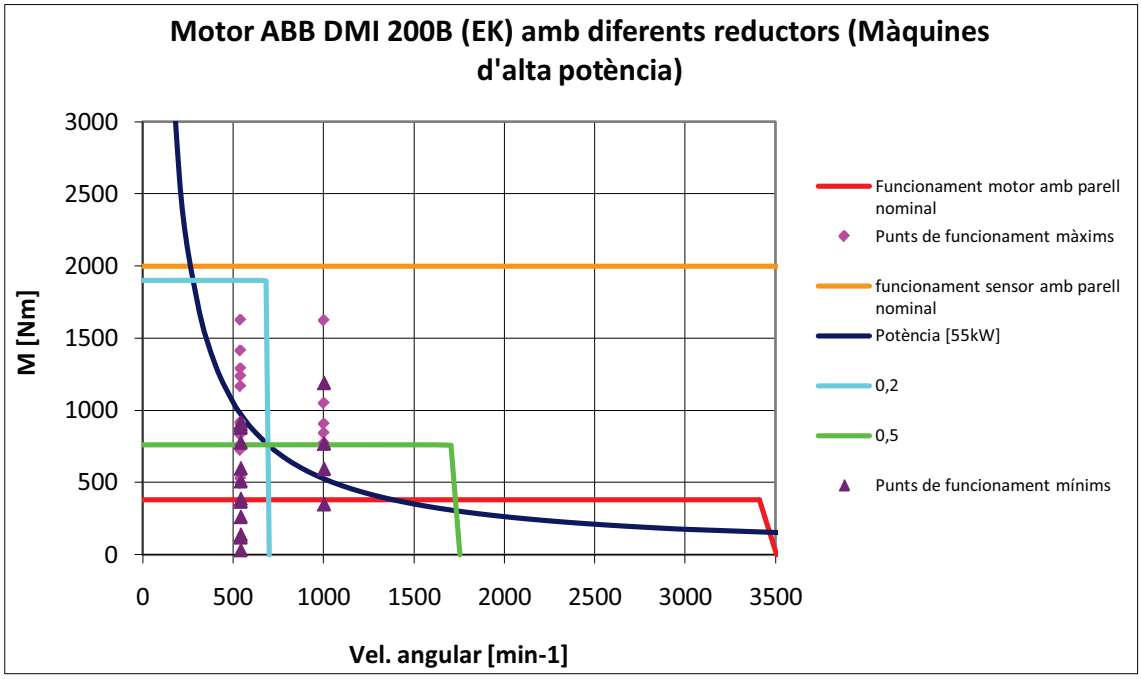


Figura 1.84. Zona de funcionament del motor DMI 200B (EK), sol i amb reductors.

- Motor DMI 200 E (ED)

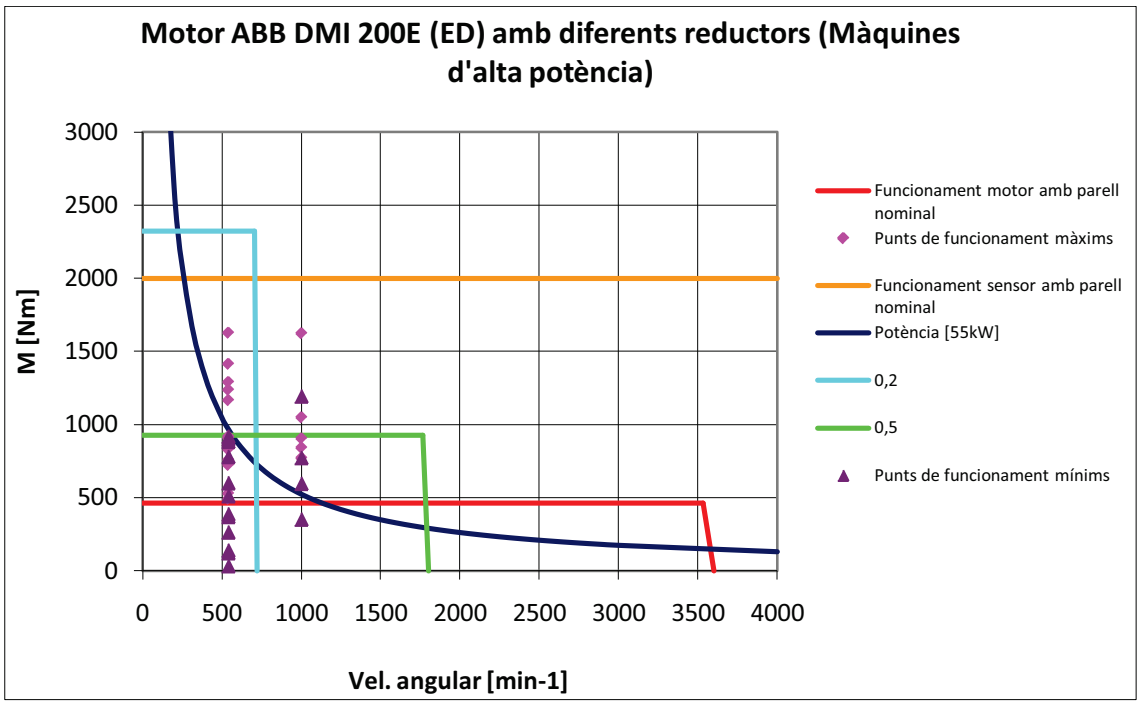


Figura 1.85. Zona de funcionament del motor DMI 200E (ED).

- Motor DMI 200 H (DU)

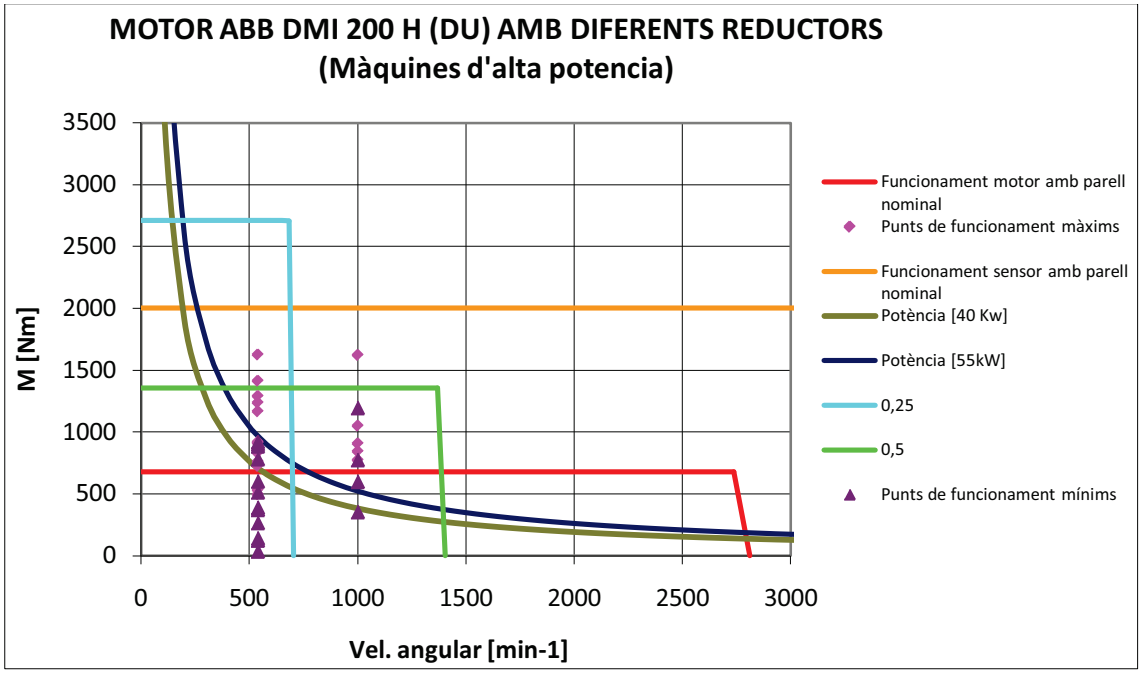


Figura 1.86. Zona de funcionament del motor 200H (DU), sol i amb reductors.

- Motor DMI 225 K (FQ)

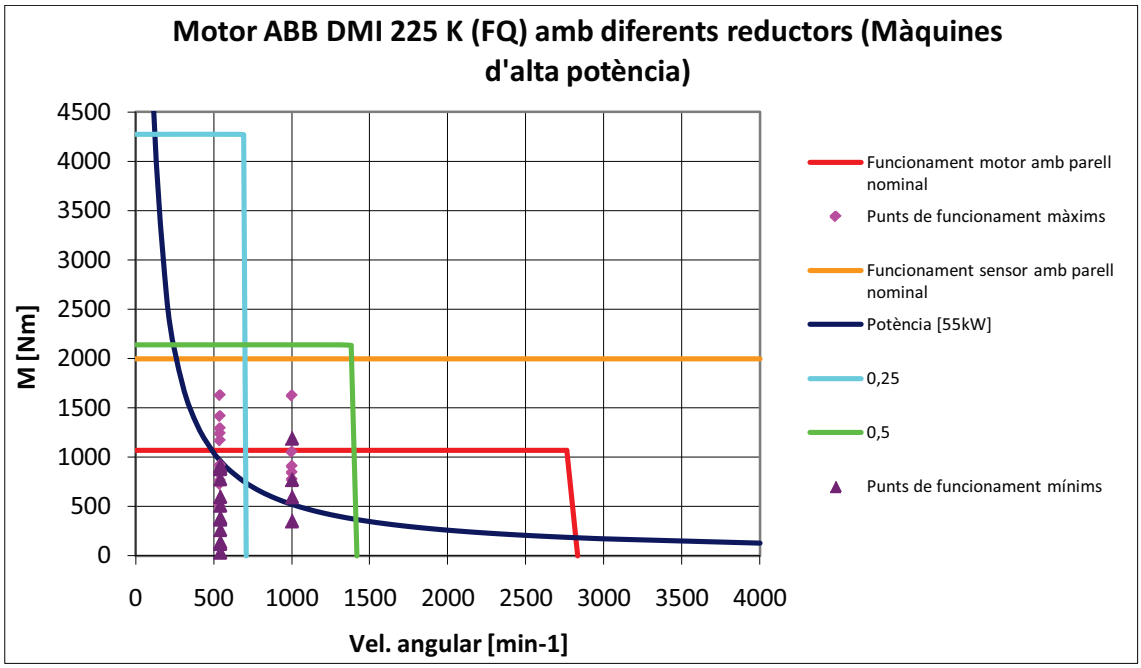


Figura 1.87. Zona de funcionament del motor DMI 225K (FQ), sol i amb reductors.

Un cop arribat amb aquest punt s'escullen els 4 motors que tenen les millors característiques pel disseny que es vol realitzar. Aquests motors son els següents:

- Motor DMI 180 H (BO)
- Motor DMI 200 E (ED)
- Motor DMI 200 H (DU)
- Motor DMI 225 K (FQ)

Aquests son els motors més adients pel projecte, perquè tenen unes prestacions més elevades que la resta, sobretot pel elevat parell que son capaços de transmetre i per la velocitat nominal de gir que tenen.

Per últim es te que realitzar un estudi, on s'ha de comparar les característiques dels quatre motors i comparar el preu de cada un d'aquests, per realitzar aquest estudi s'ha realitzat una taula on apareixen les principals característiques dels quatre motors.

	MOTOR 180 H (BO)	MOTOR 200 E (ED)	MOTOR 200 H (DU)	MOTOR 225 K (FQ)
Pes [kg]	400	430	500	740
Dimensions [llarg x ample x alt] [mm]	1332 x 360 x 831	1271 x 400 x 871	1332 x 400 x 871	1544 x 450 x 1049
Parell màxim [Nm]	460	464	678	1069
Vel. ang. a 420 V CC [min-1]	3129	3531	2738	2762
Potencia a 420 V CC [kW]	151	171	194	309
Intensitat [A]	389	442	499	801
Preu motor [€]	8.835	10.289	11.252	15.481
Preu equip de control [€]	5.302	5.302	6.015	9.290
Preu filtre[€]	1.356	1.358	1.358	2.166
Preu total [€]	15.493	16.949	18.625	26.937

Taula 1.10. Comparativa dels 4 motors finalistes.

A partir de les dades que es poden observar en aquesta taula, hi han dos motors que es poden descartar. Aquests son :

- Motor DMI 180 H (BO) , perquè aquest motor té unes característiques tècniques inferiors al motor DMI 200 E (ED) i tenen un preu molt similar.

- Motor DMI 225 K (FQ), perquè aquest motor té un preu molt elevat a la resta de motors, també el seu pes es molt elevat. L'única característica tècnica que destaca sobre la resta de motors es el parell que pot entregar, i es pot arribar a aconseguir el mateix resultat, acoblant un reductor al motor.

Per tant els dos motors finalistes son el motor DMI 200 E (ED) i el motor DMI 200 H (DU).

1.8.2.1. Elecció del motor

Per escollir el motor que s'utilitzarà en el banc, s'ha realitzat una gràfica on es pot visualitzar la zona de funcionament dels dos motors i també la zona de funcionament dels motors amb diferents reductors.

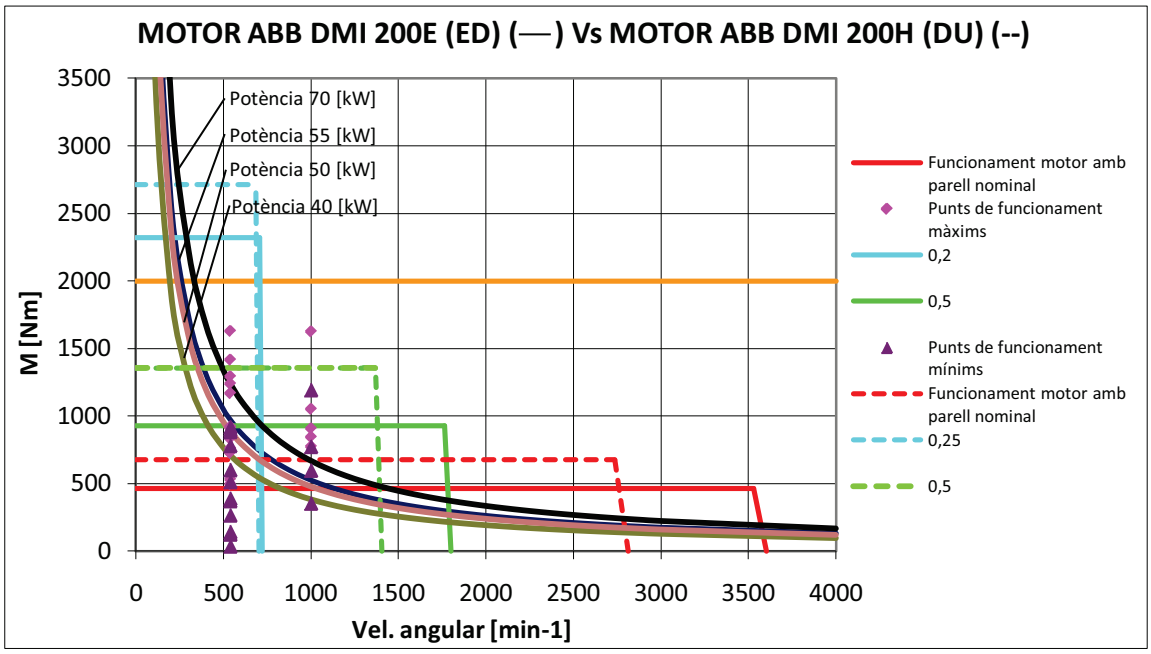


Figura 1.88. Zona de funcionament del motor DMI 200E (ED) Vs DMI 200H (DU), sols i amb reductors.

En aquest gràfic s'observa que els dos motors compleixen els requisits plantejats anteriorment. Però el motor DMI 200 H (DU), compleix els requisits només utilitzant un reductor, amb lo qual es simplifica el muntatge. A més es suprimeix el cost d'un reductor, reduint la diferencia de preu entre els dos motors, i inclús sent més favorable al conjunt de motor i reductor format pel motor DMI 200 H (DU).

1.8.3. Anàlisi del reductor

L'elecció del reductor ha set una de les parts més complicades d'aquest projecte, ja que les prestacions del reductor plantejades inicialment per aquesta aplicació, han set molt complicades de trobar en elements comercials.
Les prestacions del reductor que s'han plantejat inicialment son:

- Velocitat angular màxima d'entrada: 2738 min^{-1}
- Velocitat angular de sortida màxima: 540 min^{-1}
- La qual cosa ens indica que la relació de reducció (i) més gran que es podia utilitzar era una relació de reducció de 5, com es pot observar del següent raonament:

  $i = \frac{2738\ min^{-1}}{540\, min^{-1}} = 5{,}0703 \approx 5$
- Parell nominal màxim a l'eix d'entrada, amb un rendiment unitari: 400 Nm.
- Parell nominal màxim a l'eix de sortida: 2000 Nm.
- Potencia a transmetre: 55 kW.

La forma constructiva del reductor és un factor a tenir en compte, ja que per aquesta aplicació és necessita un reductor amb un reenviament lineal, és a dir, que l'eix d'entrada i de sortida del reductor estiguin alineats amb l'eix del motor. També s'ha de conservar constant l'altura entre l'eix del motor i l'eix de sortida del reductor o amb poca variació, perquè d'aquesta manera, es simplifica el disseny dels utillatges que hauran de suportar les màquines a assajar, pel fet de reduir la distancia de regulació en altura dels mateixos.
D'acord amb aquest requeriment, la bùsqueda s'ha simplificat exclusivament a reductors coaxials i reductors de trens epicicloïdals. A la seva vegada, la bùsqueda dels reductors de trens epicicloïdals s'ha reduït a la bùsqueda d'aquests reductors amb una sola etapa, degut a la relació de transmissió.
Un altre requeriment és que el reductor s'ha d'acoblar a la brida del motor.

1.8.3. Anàlisi del reductor

L'elecció del reductor ha set una de les parts més complicades d'aquest projecte, ja que les prestacions del reductor plantejades inicialment per aquesta aplicació, han set molt complicades de trobar en elements comercials.
Les prestacions del reductor que s'han plantejat inicialment son:

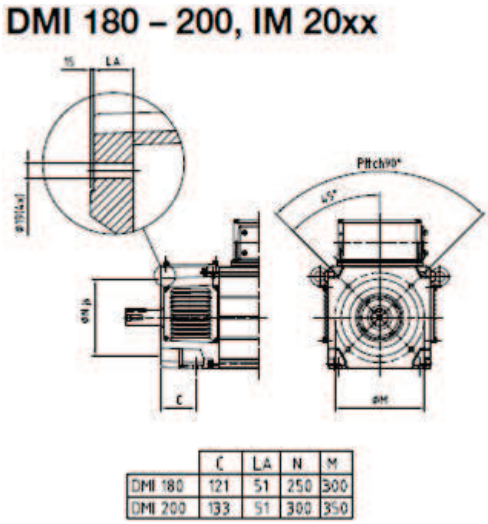
- Velocitat angular màxima d'entrada: 2738 min^{-1}
- Velocitat angular de sortida màxima: 540 min^{-1}
- La qual cosa ens indica que la relació de reducció (i) més gran que es podia utilitzar era una relació de reducció de 5, com es pot observar del següent raonament:

  $i = \frac{2738\ min^{-1}}{540\, min^{-1}} = 5{,}0703 \approx 5$
- Parell nominal màxim a l'eix d'entrada, amb un rendiment unitari: 400 Nm.
- Parell nominal màxim a l'eix de sortida: 2000 Nm.
- Potencia a transmetre: 55 kW.

La forma constructiva del reductor és un factor a tenir en compte, ja que per aquesta aplicació és necessita un reductor amb un reenviament lineal, és a dir, que l'eix d'entrada i de sortida del reductor estiguin alineats amb l'eix del motor. També s'ha de conservar constant l'altura entre l'eix del motor i l'eix de sortida del reductor o amb poca variació, perquè d'aquesta manera, es simplifica el disseny dels utillatges que hauran de suportar les màquines a assajar, pel fet de reduir la distancia de regulació en altura dels mateixos.
D'acord amb aquest requeriment, la bùsqueda s'ha simplificat exclusivament a reductors coaxials i reductors de trens epicicloïdals. A la seva vegada, la bùsqueda dels reductors de trens epicicloïdals s'ha reduït a la bùsqueda d'aquests reductors amb una sola etapa, degut a la relació de transmissió.
Un altre requeriment és que el reductor s'ha d'acoblar a la brida del motor.

A partir d'aquests requeriments s'ha començat estudiant el tipus de brida del motor escollit per aquesta aplicació.

La brida del motor ABB DMI 200 H (DU) te les següents dimensions:



	C	LA	N	M
DMI 180	121	51	250	300
DMI 200	133	51	300	350

Figura 1.89. Brida dels motors DMI 180 i DMI 200.

La brida d'aquest motor coincideix amb la brida dels motors de corrent alterna, concretament amb el motor de carcassa IEC 200, però aquests motors de CA tenen un eix de sortida xavetat amb un diàmetre de 55 mm, i en canvi, el motor de CC que s'ha elegit per aquesta aplicació te un eix xavetat amb un diàmetre de 60 mm.

En aquest punt es on apareix el primer problema, ja que no es pot acoblar el reductor a la brida del motor, per la dimensió de l'eix d'aquest. Per solucionar aquest problema, es va contactar amb el fabricant del motor, en aquest cas ABB, per si era possible substituir l'eix del motor, per un eix xavetat de 55 mm.

Desprès de varies comunicacions amb el fabricant, aquest va acceptar realitzar la modificació del motor, fet que ha provocat un encariment d'aquest.

Una vegada superat el primer problema, s'ha continuat la bùsqueda de reductors coaxials i de trens epicicloïdals dels fabricants:

- Sew eurodrive
- Lenze
- Tecnotrans
- Sumitomo

Realitzant la bùsqueda de reductors s'ha observat que els motors amb carcassa IEC 200, son motors que tenen una potencia de 30 kW, per tant la major part dels reductors amb brides d'acoblament per aquests motors, estan dissenyats per transmetre 30 kW.

Tot i aquesta contradicció s'ha prosseguit la bùsqueda de reductors segons els requeriments anteriorment citats.

En aquest punt, s'ha decantat per realitzar una taula - resum dels diferents tipus de reductors amb reenviament lineal.

Marca Reductor	Tipus Reductor	Gamma reductor	Relació de reducció mínima (i)	Parell màxim nominal [Nm]	Potència màxima gama [kW]
Sew Eurodrive	Reductors d'eixos cilíndrics	Sèrie X	6	475.000 Nm	-
		Sèrie MC	7,1	65.000 Nm	-
	Reductors d'eixos paral·lels	Sèrie ML.P	6	600.000 Nm	-
	Reductors Servo	Sèrie RX	1,3	830 Nm	-
		Sèrie R	3,21	4300 Nm	-
		Sèrie F	3,77	7840 Nm	-
		Sèrie PS.C	3	347 Nm	-
		Sèrie PS.F	3	3000 Nm	-
Lenze	Reductors helicoïdals	Gmotion	1,12	5560 Nm	45
		allargat	3,5	10.300 Nm	45
	Reductors Servo	Helicoïdal	1,12	5920 Nm	45
		Planetari	3	1000 Nm	20,3

Taula 1.12. Característiques principals de diferents reductors comercials. (Part 1)

Marca Reductor	Tipus Reductor	Gamma reductor	Relació de reducció mínima (i)	Parell màxim nominal [Nm]	Potència màxima gama [kW]
Sumitomo	Reductors d'eixos paral·lels	Sèrie 8000	6,3	564.925 Nm	-
		Sèrie 9000	6,3	552.000 Nm	-
	Reductors helicoïdal	HBB	11	10.700 Nm	-
	Reductors Ciclo	Sèrie 6000	3	68.130 Nm	-
	Reductors servo	Servo 6000	6	142,9 Nm	-
		Servo 100	11	452 Nm	-
Tecnotrans	Reductor d'eixos paral·lels	Sèrie F	6,4	14.000 Nm	200 kW
		Sèrie TA	5	16.000 Nm	156 kW
		Sèrie HDP	7,1	-	-
	Reductors helicoïdals	Sèrie C	2,6	12.000	200 kW
	Reductors epicicloïdal	Sèrie 300	3,4	450.000	450 kW

Taula 1.12. Característiques principals de diferents reductors comercials. (Part 2)

Com es pot observar en la taula 1.14 la relació de transmissió (i) de la major part dels reductors no es suficientment petita per l'aplicació que s'ha plantejat, de la majoria dels reductors.

S'han trobar varies gammes de reductors que aparentment es podien adaptar a les especificacions demanades. Aquests reductors son els següents:

- Sew Eurodrive Sèrie R
- Sew Eurodrive Sèrie F
- Sew Eurodrive Sèrie PS.F
- Sumitomo Ciclo 6000
- Tecnotrans Sèrie C
- Tecnotrans Sèrie 300

Però quan s'han analitzat més detingudament, s'ha pogut observar que hi ha un paràmetre que la majoria no compleixen, concretament la potencia tèrmica del reductor. Aquest no s'ha contemplat anteriorment.

La potencia tèrmica indica el límit tèrmic del reductor. Els valors de la potencia tèrmica s'enumera a les taules de dades del reductors i motorreductors i representa la potencia mecànica que pot ser transmesa en servei continu amb una velocitat d'entrada n1 i a una temperatura ambient de 20 ºC, sense que la temperatura de l'oli superi els 85 - 90ºC i per tant la temperatura a la superfície del reductor no superi els 75 – 80 ºC, en absència d'un sistema de refredament auxiliar. Quan el cicle de treball es caracteritza per curts períodes de funcionament i la resta de temps és suficient perquè l'equip es refredi, la potencia tèrmica és molt poc significativa i pot ser omesa del càlcul.

Per a temperatures ambient diferents de 20 ºC, cicle de treball intermitent i velocitat d'accionament n1 diferent a la indicada com referència a les taules, s'ha de corregir la potencia tèrmica (P_t) en funció del factor tèrmic (f_t) i/o el factor de velocitat (f_v) donats en la taula 1.15.

Finalment, verificar sempre que es satisfà la següent condició:

$$P_r \leq P_t \cdot f_t \cdot f_v \qquad \text{(Equació 1.17)}$$

On:

P_r = Potencia requerida per l'aplicació [kW]

P_t = Potencia tèrmica [kW]

f_t = Factor tèrmic

f_v = Factor de velocitat

t_u max. [°C]	f_t				
	Servicio continuo / Continuous duty / Dauerbetrieb / Service continu	Servicio intermitente / Intermittent duty / Aussetzbetrieb / Service intermittent			
		Relación de intermitencia % (I) / Cyclic duration factor % (I) / Relative Einschaltdauer % (I) / Rapport d'intermittence % (I)			
		80	60	40	20
10	1.2	1.3	1.6	1.8	2.0
20	1.0	1.1	1.3	1.5	1.7
30	0.9	1.0	1.2	1.3	1.5
40	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2
50	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9

n_1	f_v
750	1.5
950	1.2
1500	1.0
2000	0.7
2700	0.55

Taula 1.13. Factors de correcció de la potencia tèrmica.

Segons l'equació 1.17 i utilitzant els factors de correcció ens dona per una aplicació amb les següents condicions de treball:

- Temperatura màxima ambient de 30 ºC amb un factor d'intermitència del 60 %, que dona:

  $f_t = 1{,}2$
- Velocitat màxima dels reductors, es un factor que depèn del tipus de reductor i del fabricant, s'ha utilitzat el valor màxim d'aquesta taula, $n_1 = 2700$ [min^{-1}] que indica un $f_v = 0{,}55$.

Per tant queda la següent condició:

$$55 \leq P_t \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}55 \;\rightarrow\; P_t \geq \frac{55}{0{,}66} \;\rightarrow\; \mathbf{P_t \geq 83{,}3\ [kW]}$$

On:

P_t = Potencia tèrmica [kW]

El fabricant Sew eurodrive, no falicita taules per realitzar els càlculs de la potencia tèrmica dels reductors, sinó que s'ha de contactar amb el servei tècnic i sol·licitar la bùsqueda i càlcul d'un reductor segons les prestacions plantejades a l'inici d'aquest apartat.

Com es pot observar en la següent taula dels reductors escollits anteriorment, son pocs els que compleixen aquesta condició.

Fabricant	Model	Relació de transmissió mínima (i)	Parell màxim nominal	Potencia màxima	Potencia tèrmica del reductor
Sew Eurodrive	R107	4,92	2.900 Nm	-	-
Sew Eurodrive	F107	5.07	4600 Nm	-	-
Sew Eurodrive	PS.F821 EP.H10	4	3.000 Nm	-	-
Sumitomo	Ciclo 6205	11	2,734 Nm	59 kW	-
Tecnotrans	C1002_4,9	4,9	5.500 Nm	75 kW	-
Tecnotrans	305 L1	3,6	5.000 Nm	60 kW	13 kW
Tecnotrans	306 L1	3,6	8.500 Nm	75 kW	18 kW

Taula 1.14. Característiques principals de diversos reductors.

Dels reductors anteriorment comentats, només tenen una bona adaptació al disseny, els reductors del fabricant Sew Eurodrive, concretament els models R107 i el model PS.F821 EPH10. Però el disseny del reductor R107 té diversos avantatges amb respecte el PS.F821 EPH10, ja que aquest pot ser subministrat amb potes i brida d'acoblament, amb lo qual, es pot collar a la brida del motor i a la vegada a la bancada. D'aquesta manera es transmet l'elevat parell d'assaig directament a la bancada, sense que les unions del motor amb la bancada pateixin grans esforços.

Per altra banda el fabricant Sew eurodrive, a partir dels requeriments plantejats, va trobar un reductor que compleix les especificacions, concretament el R107, el qual van assegurar que compleix les prestacions plantejades. Aquest reductor, pot ser subministrat :

- Amb brida d'acoblament pel costat del motor i potes per ser collat a l'estructura.
- Amb brida d'acoblament pel costat del motor i amb brida d'acoblament pel costat de l'eix de sortida.

En aquest cas, no hi ha hagut dubtes en l'elecció de fabricació d'aquest, ja que era molt més interessant, el subministrament amb brida i potes, per poder ser collat a la brida del motor, i a la vegada collat a l'estructura.
D'aquesta forma, s'ha pogut transmetre l'elevat parell sense tindre que dimensionar excessivament l'estructura de la part del motor.

1.8.3.1. Elecció reductor

El reductor escollit, es el reductor coaxial del fabricant Sew Eurodrive, concretament el model R107 amb una relació de transmissió de 4,92.

1.8.4. Anàlisi de l'arbre de transmissió

Per escollir el tipus d'arbre de transmissió de potencia mecànica, s'ha de realitzar un petit estudi dels diferents tipus:

1.8.4.1. Arbre de transmissió amb una junta cardan simple a cada costat

Aquest arbre et permet corregir irregularitats de paral·lelisme entre l'arbre d'entrada i el de sortida de manera que la transmissió del moviment d'aquest tipus d'arbre sigui de manera homocinètica, ja que les irregularitats que et provoca la primera junta, es compensada pel moviment de la segona.

Figura 1.90. Arbre de transmissió amb juntes cardan.

1.8.4.2. Arbre de transmissió amb una junta homocinètica en un cantó i una simple a l'altre.

Aquest arbre et permet corregir irregularitats de paral·lelisme entre l'arbre d'entrada i el de sortida, també et permet corregir irregularitats de desviació angular de l'eix on es troba la junta homocinètica, mantenint la transmissió del moviment sense irregularitats, de manera homocinètica.

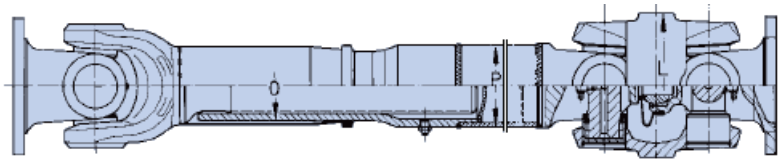


Figura 1.91. Arbre de transmissió amb una junta cardan a l'esquerra i una junta homocinètica a la dreta.

1.8.4.3. Arbre de transmissió amb junta homocinètica a cada costat.

Aquest arbre de transmissió et permet corregir irregularitats de paral·lelismes de desviació angular dels dos eixos de manera que la transmissió del moviment sempre es homocinètica.

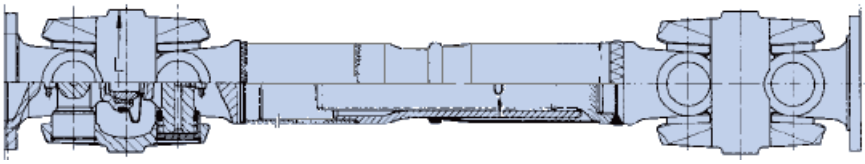


Figura 1.92. Arbre de transmissió amb juntes homocinètiques.

S'ha de tindre en compte que aquestes juntes tenen uns angles de treball màxims, que varien segons el tipus de junta. Però els angles de les juntes amb que es treballaran en el banc, seran molt inferiors als angles de treball màxims dels diferents tipus de juntes.
Pel muntatge que es te que realitzar en el banc d'assaig, i des del punt de funcionament de la transmissió del moviment, tots els tipus d'arbres de transmissió comentats compleixen amb els requisits dels bancs d'assaig.
També s'ha de contemplar el nivell de vibració que l'arbre pot transmetre al conjunt, i concretament els senyals paràsits que pot transmetre a la lectura del sensor.
Per aquest motiu s'han observat models ja existents en el mercat, per poder escollir el tipus d'arbre de transmissió més adequat.

Figura 1.93. Banc d'assaig del fabricant API – COM amb arbres de transmissió amb juntes cardan.

Com es pot observar en la figura 1.92, els arbres utilitzats per la transmissió de moviment en els bancs del fabricant API – COM, son arbres amb juntes cardan simples a cada costat.

Per tant, ens indica que el soroll que pot transmetre l'arbre amb juntes cardan simples no es significatiu, sumat al preu inferior que te aquest arbre de transmissió, amb la resta dels que s'han comentat, ens fa decantar per aquest tipus d'arbre de transmissió pel muntatge del banc d'assaig.

1.8.4.4. Elecció de l'arbre de transmissió

S'ha elegit dos arbres de transmissió amb juntes cardan simples als dos costats.

1.8.4.4.1. Arbre de transmissió, quan únicament funciona el motor.

L'arbre escollit ha set el **elbe 0.113.100**, amb una capacitat de transmetre parell de 4.100 Nm.

La vida útil calculada per aquest arbre de transmissió es de 4.000 hores. Per observar els càlculs consultar l'annex 2.1.6.

S'ha escollit aquest, perquè es l'arbre que s'adapta al plat d'acoblament per eix xavetat de 55 mm.

1.8.4.4.2. Arbre de transmissió, quan funciona motor i reductor.

L'arbre escollit ha set el **elbe 0.117.001**, amb una capacitat de transmetre parell de 10.000 Nm, i una longitud entre plats de 430 mm.

La vida útil calculada per aquest arbre de transmissió es de 25.000 hores. Per observar els càlculs consultar l'annex 2.1.6.

En aquest cas, també s'ha escollit aquest arbre perquè es el que s'adapta al plat d'acoblament per eix xavetat de 70 mm.

1.8.5. Sistema d'adquisició de dades

Per tal de poder enregistrar els diferents valors recollits durant l'assaig, és necessari tenir un enregistrador de dades o data logger. Posteriorment si s'utilitza el data logger per poder visualitzar i analitzar les dades és necessari connectar i configurar el data logger en un ordinador.

En aquest apartat el que es pretén es escollir el sistema d'adquisició de dades més adequat pel l'enregistrament de les dades, a partir de les diverses sortides i senyals de dades que es poden arribar a tenir segons el tipus d'assaig.

En la fundació MAQCENTRE, en la qual s'està realitzant aquest projecte, ja disposen de dos sistemes d'adquisició de dades, que es poden utilitzar per l'enregistrament d'aquest cas. Els quals son:

- Sistema mitjançat data logger i programació amb LabVIEW.
- Sistema d'adquisició de dades format per un enregistrador de dades i un oscil·loscopi, tot inclòs en el mateix equip.

Per saber quin dels dos sistemes s'adapta millor al funcionament del banc, primerament s'ha de conèixer el nombre i tipus de senyals que s'han d'analitzar.

1.8.5.1. Dades a analitzar

1.8.5.1.1. Senyals analògiques

Les senyals analògiques utilitzen la tensió o la intensitat elèctrica com a magnitud, en funció de la variable real de mesura, per tant aquesta senyal ha de ser enregistrada per un mòdul d'adquisició de dades o un data logger destinat per enregistrar aquest tipus de dades.

En aquests cas, només hi ha una senyal analògica, que es la senyal que s'obté del sensor de parell pròpiament dit.

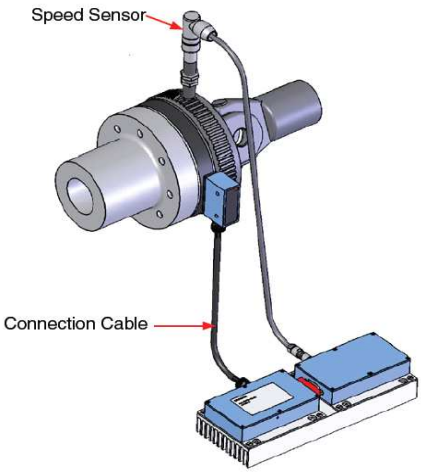


Figura 1.94. Sensor de parell i tacòmetre amb condicionador.

Aquestes senyals surten del condicionador de dades que incorpora aquest equip. El condicionador realitza la funció de convertir la senyal digital del sensor de parell en una senyal analògica, també serveix per amplificar la senyal.

Les senyals analògiques son les més utilitzades pels diferents tipus de sensors, en el cas del banc només hi ha dos tipus de senyals a monotoritzar, una analògica i una altra de pulsacions.

- Sensor de parell (Senyal de tensió que pot variar entre ± 5 V CC)

1.8.5.1.2. Senyal de pulsacions.

La senyal digital de polsos ve condicionada pel nombre de dents del sensor. La senyal sortint del condicionador de dades, es TTL, és a dir, polsos per revolució corresponents amb el nombre de dents del sensor.

1.8.5.2. Necessitats del sistema

En l'assaig de transmissions, que es l'assaig on es necessiten major nombre de sensors, concretament dos sensors de parell, i dos tacòmetres, es el cas on es necessiten major nombre d'entrades del sistema d'adquisició de dades.

A continuació s'ha realitzat una taula on apareixen les senyals a analitzar pels diferents assaigs plantejats.

Tipus d'assaig	Nombre i tipus de senyals a analitzar
Assaig de motors	- Senyal de Tensió (± 5V CC) - Senyal de polsos (TTL)
Assaig de transmissions	- 2 senyals de Tensió (± 5V CC) - 2 Senyals de polsos (TTL)
Assaig de màquines accionades	- Senyal de Tensió (± 5V CC) - Senyal de polsos (TTL)

Taula 1.15. Tipus de senyals a adquirir, segons l'assaig a realitzar.

Per tant el sistema d'adquisició de dades necessita 2 entrades analògiques i dos entrades de pulsacions, aquest punt el compleixen el dos sistemes, per tant qualsevol dels dos sistemes servirien per analitzar les dades del banc.

Però s'han estudiat altres característiques d'aquests, com pot ser, simplicitat de funcionament, capacitat d'enregistrament de les dades o programació dels mateixos.

Queda exclòs d'aquest estudi el cost de cada equip, ja que son equips que la fundació MAQCENTRE ja té en les seves instal·lacions.

1.8.5.3. Sistema d'adquisició de dades amb data logger i programació mitjançant LabVIEW.

Aquest es un sistema d'adquisició de dades programable, conté diversos data loggers per enregistrar diferents senyals.

Figura 1.95. Sistema d'adquisició de dades CompactRIO 9073 i pantalla.

Aquest equip te la particularitat que es necessita connectar-lo a un PC, per programar-lo i posteriorment analitzar les dades obtingudes en l'assaig. Però alhora de funcionar és un equip autònom, ja que incorpora un petit ordenador que permet processar totes les dades. El programa utilitzat per configurar i analitzar les dades obtingudes es el LabVIEW.

Però les dades obtingudes dels diferents sensors no es poden veure, si aquest equip no està connectat a una pantalla externa, com la que es pot observar en la figura 1.94. També s'utilitza per realitzar les tasques d'arrencada i parada de l'adquisició de dades.

Pel que fa a la capacitat d'enregistrar dades, aquest incorpora 15 data loggers per diferents tipus de senyals i resolucions, alguns dels quals estan per duplicat, per aquest motiu com es pot veure en la següent taula, només apareixen 12 tipus.

Model	Nº de canals	Tipus d'entrada	Sample Rate	Tipus de connector	Resolució
NI 9217	4	Analògic	100 S/s/ch	Terminals de cargols	24 bits
NI 9476	32	Digital		Dsub de 37 pins	
NI 9425	32	Digital		Dsub de 37 pins	
NI 9211	4	Analògic	14 S/s	Terminals de cargols	24 bits
NI 9234	4	Analògic	51,2 KS/s	Terminals de cargols	24 bits
NI USB-6009		Analògic i digital	48 KS/s	USB	14 bits
NI 9203	8	Analògic	200 KS/s	Terminals de cargol	16 bits
NI 9237	4	Analògic	50KS/s/ch	Connector RJ50	24 bits
NI 9201	8	Analògic	500 KS/s	Terminals de cargol	12 bits

Taula 1.16. Característiques dels diferents data loggers. (Part 1)

Model	Nº de canals	Tipus d'entrada	Sample Rate	Tipus de connector	Resolució
NI 9263	4	Analògic	100 KS/s /ch	Terminals de cargol	16 bits
NI 9852	2	Digital		Connectors Db 9 macles	Estàndard: 11bits i ampliable a 29 bits
NI 9235	8	Analògic Senyal: Quarter bridge	10KS/s/ch	Connector NI 9965 backshell per 24 pos.	24 bits

Taula 1.16. Característiques dels diferents data loggers. (Part 2)

Els data loggers presentats en la taula 1.18, compleixen els requisits de velocitat de mostreig i de resolució. També aquests tenen el nombre d'entrades necessaris per l'adquisició de totes les dades que es poden recollir de l'assaig, concretament els dos mòduls millor adaptats al tipus de dades a adquirir dels presentats son:

- NI 9263 per adquirir les senyals analògiques.
- NI 9425 per adquirir les senyals digitals, encara que també serviria el model NI 9476, però s'ha elegit el primer, perquè pot arribar a adquirir fins a un nivell més elevat de freqüència, concretament 140 kHz més.

MODEL	Nº de canals	Tipus d'entrada	Sample Rate	Tipus de connector	Resolució
NI 9263	4	Analògic	100 KS/s /ch	Terminals de cargol	16 bits
NI 9425	32	Digital		Dsub de 37 pins	

Taula 1.17. Característiques dels data loggers escollits per l'aplicació.

- Programació de l'equip

La programació d'aquest, es realitza mitjançant LabVIEW, per poder adquirir les dades correctament. La programació d'aquest equip, es costosa i normalment sorgeixen molts problemes de senyals parasites.

- Portabilitat de l'equip

Es un equip de reduïdes dimensions, per tant el seu transport no es un dels seus punts febles.

La connexió entre la pantalla tàctil i el conjunt dels data loggers es realitza per internet, amb la qual cosa et dona marge de distancia per tindre una separació de seguretat entre la pantalla amb la qual s'efectua l'arrencada i parada de l'adquisició de dades.

És un equip alimentat amb una tensió de 19 a 30 V de CC.

1.8.5.4. Sistema d'adquisició de dades format per un enregistrador de dades i un oscil·loscopi, tot inclòs en el mateix aparell.

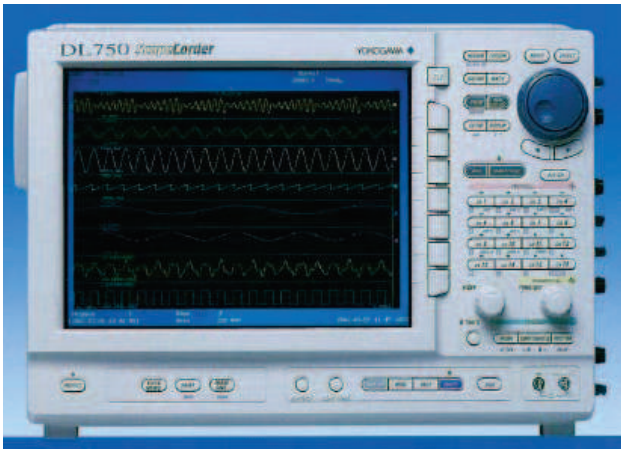


Figura 1.96. Sistema d'adquisició de dades autònom i portàtil.

El Yokogawa DL 750 SCOPE CORDER és un equip que incorpora un oscil·loscopi, un adquiridor i un gravador de dades. Dotat amb 16 canals, es capaç de processar mes de 10 milions de mostres per segon.

Ha sigut dissenyat especialment per sistemes electromecànics, per l'alta resolució, degut a la isolació, el gran percentatge de filtració i per la gran capacitat d'adquisició de dades. Aquest equip conté 8 data loggers, que a la seva vegada cada un te dos canals, d'aquí els 16 canals.

Les característiques dels data loggers que conté aquest equip es mostren a continuació, només n'apareixen sis perquè n'hi ha que estan duplicats.

MODEL	Tipus d'entrada de senyal	Sample Rate	Tipus de connexió	Resolució
701250	Voltatge	10 MS /s	BNC	12 bits
701251	Voltatge	1 MS /s	BNC	16 bits
701265	Temperatura	500 S/s	Binding post	16 bits
701275	Acceleració	100 KS /s	BNC	16 bits
701270	Esforços	100 KS /s	Connector NDIS per esforços	16 bits
701280	Freqüència	25 KS/s	BNC	16 bits

Taula 1.18. Característiques dels diferents data loggers de l'equip Yokogawa DL 750 Scope corder.

Com es pot observar les característiques d'aquests data loggers son superiors als de l'equip de National Intruments, tant per la velocitat d'adquisició de dades (Sample rate), com per aïllament dels canals, ja que cada canal te una barrera òptica, que evita que acoblin senyals parasites. També aquests data loggers estan preparats per adquirir tipus concrets de senyals, segons l'aplicació, amb lo qual incorporen certs ajustos per poder analitzar la senyal de manera més senzilla per l'usuari.
Pel que fa a la resolució, hi ha data loggers de l'altre equip que tenen una major resolució, però per l'aplicació que es necessita son suficients.

- Programació de l'equip

Aquest equip et permet programar-lo in-situ , o a través del PC.

La programació d'aquest equip es senzilla i ràpida, a més et permet carregar configuracions guardades, de manera que no fa falta tornar-lo a programar, després de realitzar un altre tipus d'adquisició.

També aquest equip permet ser controlat per PC, via internet, de manera que no es requereix la presencia de la persona encarregada de controlar l'equip, en la zona on es troba aquest.

- Portabilitat de l'equip

Es un equip amb unes dimensions compactes, de manera que et permet transportar-lo sense tindre cap tipus de problema, de fàcil instal·lació, i pot ser alimentat amb la corrent de la xarxa o amb 12 V CC per realitzar proves en camp.

1.8.5.5. Elecció del sistema d'adquisició de dades

Per les característiques de cada equip, tots dos serveixen per realitzar la funció d'adquisició de dades del banc d'assaig, però la facilitat de programació del Yokogawa DL 750 SCOPE CORDER i l'aïllament del canals que permet reduir les senyals parasites, fan d'aquest equip, l'equip adequat per l'adquisició de dades del banc d'assaig.

1.9. Resultats finals dels components comercials a integrar

1.9.1. Fre dinamomètric.

El fre utilitzat per aquest banc, és un fre-motor, concretament serà també el motor utilitzat, és a dir, el motor DMI 200H (DU), del fabricant ABB.

S'ha utilitzat un fre – motor, per aquesta aplicació per les característiques que només tenen aquests frens.

- Assaig a baixes revolucions (al voltant de 0).
- Capacitat per regenerar energia elèctrica quan treballa com a generador.
- Sistema de regulació de gran resposta.
- Etc.

1.9.2. Motors

El banc d'assaig està compost per un motor de CC del fabricant ABB, concretament el model DMI 200H (DU). Aquest motor incorpora un control amb quatre quadrants i possibilitat d'injectar l'energia elèctrica generada, quan aquest treballa en el mode de generador a la xarxa, d'aquesta manera es redueix el desaprofitament de l'energia durant els assaigs. El banc d'assaig s'utilitzarà amb una potencia de 55 kW.

1.9.3. Reductor

L'elecció del reductor ha set complicada pel fet que la majoria de fabricants no solen treballar amb velocitats angulars de treball tan elevades com la plantejada en aquest projecte (2700 min^{-1}).

En aquest cas concret, s'ha buscat un reductor on l'eix d'entrada i el de sortida tinguin poc desalineament vertical, perquè d'aquesta manera es conserva aproximadament l'altura de l'eix motor sobre la resta de l'estructura.

El reductor escollit ha set el reductor R107 AM200, amb una relació de transmissió de 4,92. Aquest ha estat escollit amb brida d'acoblament per la part del motor, i amb potes per poder ser collat a l'estructura, perquè d'aquesta forma es pot transmetre el parell a l'estructura sense que el motor tingui que suportar elevats esforços.

1.9.1. Arbre de transmissió

En aquest cas, s'han elegit dos arbres de transmissió.

Un per quan el motor treballa sense reductor, en aquest cas l'arbre de transmissió és un arbre amb juntes cardan als dos costats. S'ha elegit el model 0.113.100 del fabricant elbe, amb una vida útil de 4.000 hores.

L'altre arbre de transmissió es per quan funciona el motor amb el reductor, en aquest cas també s'ha escollit un arbre de transmissió amb juntes cardan als dos costats. El model escollit ha set el model 0.117.001, també del fabricant elbe, amb una vida útil de 25.000 hores útils.

1.9.2. Sistema d'adquisició de dades

L'elecció del sistema d'adquisició de dades, ha set una elecció entre diversos equips de que disposa la fundació MAQCENTRE, per al qual s'està realitzant aquest projecte.

S'ha escollit un equip amb unes característiques molt especialitzades per al tipus de senyals a adquirir dels sensors. Una altra raó per la qual s'ha escollit aquest equip, és la simplicitat de programació de l'equip i també per la facilitat de carregar configuracions de programes realitzats anteriorment.

L'equip escollit per realitzar la funció d'adquisició de dades és el YOKOGAWA DL750.

1.10. Requisits del conjunt banc d'assaig.

1.10.1. Seguretat i salut

Aquest és un dels aspectes més importants a contemplar, ja que el banc d'assaig depèn d'un bon disseny per evitar riscs innecessaris en el funcionament d'aquest i tindre unes condicions optimes de treball al voltant del mateix.
S'ha de tindre amb compte tots els elements giratoris que intervenen en la transmissió de potencia.
La temperatura ambient de treball no ha de ser un problema per la salut. Per tant la temperatura màxima ambient al voltant del banc de proves s'ha de contindre en un rang de temperatures que no suposi cap risc per la salut del personal del centre.

També s'han de senyalitzar amb símbols normalitzats els arbres de transmissió.
L' instal·lació elèctrica ha de complir amb les normatives de distribució i consum de CC.

<u>Normatives aplicables al banc d'assaig</u>
Directives que compleix el motor ABB de CC
CEM 89 / 336 / CEE → marcat CEE
73 / 23 / CEE i 93 / 68 / CEE → Tensió
89 / 392 / CEE → Màquines

<u>Normatives de la instal·lació</u>
Real Decreto 486/1997, de 14 d'abril, sobre condicions dels llocs de treball.
Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre el soroll en llocs de treball.
Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, senyalització en llocs de treball.
Real Decreto 842 / 2002 → Reglament de baixa tensió
Real Decreto 1495 / 1986 → Reglament de seguretat en la màquina
Real Decreto 1580 / 2006 → Reglament de compatibilitat electromagnètica

1.10.2. Muntatge motor

El motor que s'utilitzarà en el muntatge, és el motor de CC del fabricant ABB i concretament el model DMI 200 H DU.
Aquest motor té unes dimensions:
Llarg: 1192 mm
Ample: 542 mm
Alt: 871 mm
El pes del qual es de 645 kg.
La base de recolzament del motor està formada per 4 forats passants de 19 mm de diàmetre, distribuïts en un rectangle, el costat petit del qual mesura 318 mm i el gran mesura 616 mm.

Les bases dels punts d'anclatge tenen una forma rectangular. Les dimensions de les bases de la part més propera a l'eix del motor son:
Costat curt: 72 mm
Costat llarg: 156 mm

Les dimensions de les bases de recolzament, de la part posterior del motor son:
Costat curt: 72 mm
Costat llarg:129 mm

Les bases del punts d'anclatge no estan alineades amb la resta de la base del motor, sinó que la separació entre plans, de la base dels punts d'anclatge amb la part central de la base del motor es de 1,1 mm i amb la resta de la base del motor es de 4,17 mm .
Les varilles roscades que s'han d'utilitzar per realitzar el muntatge del motor tenen que tindre un diàmetre de la rosca de M16 i una longitud de 75 mm.
Per poder acoblar un reductor estàndard a la brida d'aquest, s'ha tingut que modificar l'eix xavetat del motor de 60 mm a un eix xavetat de 55 mm, perquè d'aquesta forma,

s'aconsegueix que el motor tingui la mateixa brida que un motor de CA, concretament la mateixa que el motor de carcassa IEC 200.

1.10.3. Muntatge Reductor

El reductor escollit ha estat el R107AM200, del fabricant Sew-eurodrive.
És un reductor coaxial, el qual incorpora una brida d'acoblament per collar-lo al motor, també disposa de peus per ser collat.
Aquest s'utilitzen per transmetre l'elevat parell d'assaig directament a la bancada.
La base formada pels peus del reductor, conté quatre forats passants de diàmetre 26 mm.
Aquests estan distribuïts en un rectangle de dimensions:

Costat curt: 290 mm.

Costat llarg: 370 mm.

Per poder muntar aquest reductor, s'ha de muntar primerament a la brida del motor, després es collarà en tub estructural en 2 dels 4 forats que contenen els peus, mitjançant cargols de M24. El muntatge d'aquesta última part , s'ha realitzat amb uns utillatges que es puguin regular en altura, de forma molt precisa.

1.10.4. Requisits tècnics funcionals

El parell màxim de transmissió serà de 2000 Nm quan es realitzi l'assaig de transmissions, per tant el banc ha d'estar dissenyat per poder transmetre dit parell sense tenir problemes de vibracions, perquè aquestes podrien donar alteracions en l'adquisició de dades i també podrien provocar efectes secundaris no desitjats com poden ser el trencament d'algun arbre de transmissió per fatiga, etc.
La bancada anirà recolzada sobre el terra amb uns peus regulables en altura per poder compensar les possibles irregularitats que pugui tindre el terra de l'edifici on va ubicat el banc.

La part del banc on es collaran les màquines, estarà formada per un rectangle de dimensions:

Ample: 1300 mm

Llarg : 2000 mm

Les màquines han d'estar subjectades a la bancada per evitar que aquestes s'aixequin de la mateixa, degut al parell de transmissió. Per cargolar les màquines a la bancada hi han dos possibles solucions.

En aquest cas s'ha optat per realitzar el muntatge amb una xapa tallada amb laser, amb un gruix de 15 mm, amb una matriu de forats roscats.

El diàmetre dels cargols ha de ser M-12, perquè s'ha de conservar una proporció entre la profunditat del forat roscat, en aquest cas 15 mm, i el diàmetre del cargol roscat, també s'ha tingut en compte que la resistència del cargol es molt superior a la de la xapa, per tant s'ha optat per reduir el diàmetre del cargol de M-14 a M-12, perquè d'aquesta forma la rosca i la xapa treballen de manera més optima.

Per altra banda l'altura de l'eix del motor amb respecte la xapa destinada a collar les màquines, tenen una altura de 450 mm, ja que s'han de realitzar probes de ventiladors que poden arribar a tindre radis de 420 mm i també per si s'ha de fer probes de potència de PTO de tractors. En aquest cas, només es realitzaran probes de PTO de 6 acanaladures, ja que la potència escollida pel banc d'assaig només pot abarcar la zona de funcionament d'aquest tipus de PTO.

Tipo de toma de fuerza	1	2	3	4
Diámetro nominal (mm)	35	35	45	57
Nº de acanaladuras	6	21	20	18
Régimen nominal (rev/min)	540	1000	1000	1000
Potencia máxima (kW - CV)	48 - 65	92 - 125	185 - 252	340 - 462
Altura sobre el suelo (mm)	450 - 675	550 - 775	650 - 875	800 - 1060
Desviación plano medio (mm)	50			

Taula 1.8. Característiques més significatives dels diferents tipus de PTO. (ISO 500)

Com es pot observar les PTO de 6 acanaladures, tenen una altura lliure respecte el terra de 450 a 675 mm.

1.10.5. Instal·lació elèctrica

Els requisits de la instal·lació elèctrica que es necessita pel muntatge del motor de CC, concretament el motor ABB DMI 200 H, son les següents:
El fabricant de motors ABB recomana que la contractació de la potencia elèctrica ha de ser un 50% superior a la potència del motor.

- Tensió de la línia a l'entrada del convertidor: 400 V (Trifàsica)
- Intensitat de la línia a l'entrada del convertidor: 420 A
- Potencia elèctrica de la línia: 291 kW

Aquests requisits son un inconvenient perquè quan el motor està funcionant sense reductor, en el punt més desfavorable amb 55 kW de potència a la sortida de l'eix a una velocitat de 1000 min^{-1}, el cos φ es molt baix, la qual cosa provoca que la potencia reactiva sigui molt elevada.
Per aquest fet, es té que instal·lar una bateria de condensadors per disminuir la potència reactiva del sistema.
Requisits que ha de complir la bateria:
Potencia reactiva que ha de corregir la bateria o conjunt de bateries és 166,7 kW.

1.10.6. Precisió de la instrumentació

1.10.6.1. Parell

Els diferents sensors i equips d'adquisició de dades han de complir amb precisions mínimes.

- Error de la lectura del parell transmès s'ha establert en: ≤ 1 %
- En el centre per al qual s'està realitzant aquest projecte, disposa de dos sensors de parell tipus flat, amb rangs de medició:
  - Rang de medició fins a 200 Nm
  - Rang de medició fins a 2000 Nm

Complint el requisits d'error màxim produït en la lectura, ens deixa un rang de transmissió de parell en el banc de 20 Nm a 2000 Nm, per als assaigs de motors i màquines accionades.

Però pels assaigs de transmissions, el rang de medició de parell es diferent, ja que aquest ha d'incorporar dos sensors de parell, un a l'entrada i l'altre a la sortida de la transmissió.

Per tant, al només tindre dos sensors de parell, aquest rang es queda molt definit:

- Rang de transmissió de parell amb un error en la lectura≤ 1% , a l'eix ràpid de la transmissió: 20 Nm a 200 Nm
- Rang de transmissió de parell amb un error en la lectura≤ 1%, a l'eix lent de la transmissió: 200 Nm a 2000 Nm

1.10.6.2. Velocitat angular

El mesurament de la velocitat angular es realitza mitjançant sensors electromagnètics que incorporen els mateixos sensors de parell. Aquests sensors destaquen per la senzillesa de funcionament i per la seva falta de manteniment, també tenen unes bones prestacions, amb un rang de mesura que va de 0,5 min^{-1} fins al límit de la velocitat angular del sensor, que varia segons el sensor.

- Velocitat angular màxima del sensor de 200 Nm: 14.000 min^{-1}
- Velocitat angular màxima del sensor de 2000 Nm: 8.000 min^{-1}

En els assaigs de motors i màquines accionades, la velocitat angular, també es pot mesurar mitjançat el convertidor de CC, ja que aquest et permet regular la velocitat angular i el parell transmès per l'eix del motor.

La velocitat del motors de CC es proporcional a la tensió d'alimentació, la qual cosa indica que quan es varia la tensió d'alimentació també varia la velocitat, sempre conservant una proporcionalitat. El mateix succeeix amb la intensitat que circula pels bobinats i el parell que desarrolla l'eix del motor.

La regulació de la velocitat per mitjà del convertidor de CC, es realitza amb un encòder que incorpora el motor, que proporciona les dades de velocitat angular i de posició de l'eix, d'aquesta manera et permet regular la variable de la velocitat angular.

Figura 1.97. Panel de control del convertidor.

En el assaig de transmissions, aquest encòder només pot proporcionar la velocitat de l'eix d'entrada a la transmissió, per tant en aquest cas és insuficient, ja que s'ha d'instal·lar un sensor de parell i velocitat angular a l'entrada de la transmissió, i un altre a la sortida d'aquesta, per poder obtenir tota la informació necessària.

1.10.7. Fabricació

L'estructura de la bancada es realitzarà amb tubs estructurals comercials soldats amb qualitat S 235 JR. Aquests tubs tenen que suportar la transmissió de l'elevat parell que s'ha plantejat com a requisit, aquest plantejament condiciona el tipus de tub estructural a utilitzar per la torsió a que estaran sotmesos.

Els tubs que suporten més be la torsió son els tubs que tenen forma rodona, però aquests tubs tenen uns inconvenients molt importants per la realització d'aquest projecte, i es que aquests tubs tenen el problema de que al soldar-los es molt més complicat que altres tipus, perquè s'han d'adaptar a la forma cilíndrica de l'altre tub. L'altre inconvenient, es que es necessita una estructura soldada amb una planitut correcta, perquè damunt es col·locarà una xapa tallada amb laser on es collaran els suports de les màquines a assajar. En aquest projecte s'utilitzaran tub estructural quadrat amb unes dimensions de 120 x 120 x 6 mm.

També s'utilitzarà tub estructural rectangular de 120 x 80 x 6 mm, per reforçar l'estructura principal de la part de les màquines. També hi ha un altre requisit per incorporar tubs estructurals rectangulars per reforçar l'estructura, i es que s'ha evitat que els forats roscats de la xapa, que anirà soldada a la part superior d'aquests tubs, estiguin molt propers als cantells d'aquests. Perquè aquestes zones estaran soldades.

Les xapa del disseny destinada a collar màquines te un gruix de 15 mm, perquè d'aquesta manera es pot tallar amb un laser convencional. En ella també s'ha de realitzar una matriu de forats roscats de M12, separats entre ells 100 mm.

L'altra xapa, que es troba en la part inferior de la estructura soldada, entre els dos tubs estructurals centrals, te un gruix de 5 mm i la seva funció es donar rigidesa a l'estructura.

Les peces que serveixen per collar els peus regulables, son peces amb un gruix de 15 mm, també son peces que es realitzaran amb laser, ja que el laser et permet realitzar formes complicades, amb gran precisió.

També s'ha de realitzar la construcció dels utillatges que han de suportar el reductor, aquests utillatges tenen que complir les següents funcions:

- Suportar part del pes del reductor

- Transmetre el parell a la bancada
- Ha de ser un suport regulable en altura, amb gran precisió, perquè el reductor va cargolat a la brida del motor i al suport que s'ha dissenyat. Aquesta regulació en altura es realitzarà amb una varilla roscada al utillatge amb un diàmetre de rosca de M 20. Aquesta opció de regulació amb rosca permet obtenir la precisió requerida per aquesta aplicació.

Aquest utillatge te que transmetre el parell i part del pes del reductor a la xapa amb la matriu de forats roscats, per tant aquest utillatge estarà compost per una base cilíndrica de 10 mm de gruix amb quatre forats colissos passants per cargolar la base a la xapa. L'altra part d'aquest utillatge està formada per un altre cilindre amb un forat roscat de diàmetre M 20, i per últim l' utillatge està reforçat per quatre carteles de 3 mm de gruix, totes aquestes parts estan soldades.

L'unió entre l'utillatge i el reductor es realitzarà per mitja d'un tub estructural de dimensions 80 x 80 x 5mm , que permet tenir els punts d'anclatge dels utillatges separats 700 mm entre ells, per tant l'esforç que han de realitzar els cargols de la base d'aquests és menor.

Aquest tub estructural anirà cargolat a la base del reductor per mitjà de dos cargols de M 24, ja que el forat de la base del reductor, es un forat passant amb un diàmetre de 26 mm, i anirà cargolada l'utillatge amb la varilla roscada d'aquest i la seva respectiva femella de diàmetre de rosca M 20.

1.10.8. Resum dels requisits de disseny

Tipus de requeriments	Especificació
Muntatge motor	**Llarg:** 1192 mm **Ample:** 542 mm **Alt:** 871 mm **Dimensions punts d'anclatge:** Els punts d'anclatge estan distribuïts en un rectangle, el costat petit del qual mesura 318 mm i el gran 616 mm. **Base de recolzament:** Les bases dels punts d'anclatge estan formades per rectangles. Les bases més properes a l'eix de sortida del motor tenen les següents dimensions: Costat curt:72 mm Costat llarg: 129 mm Les bases on es recolzen els punts d'anclatge de la part posterior del motor tenen les següents dimensions: Costat curt: 72,2 mm Costat llarg: 156 mm Aquestes bases no estan alineades amb la resta de base del motor, tenen una distancia entre plans de 1,1 mm respecte la part central del motor, i amb la resta de base del motor la distancia es de 4,17 mm

	Forats d'anclatge: Diàmetre forats: 19 mm (per tant la mètrica dels cargols tenen que ser de M16) Tipus de forats: passants **Muntatge motor amb l'estructura:** El motor te que anar collat a l'estructura amb varilles roscades, amb una diàmetre de M16. Va amb varilles roscades perquè es l'única manera de realitzar l'unió roscada. Per poder aprofitar al màxim l'esforç que pot suportar la varilla i la rosca, s'ha de realitzar forats passants a l'estructura. La varilla roscada estarà collada als passamans que suporten el pes del motor. Concretament 4 passamans de les següents dimensions: Ample: 80 mm. Llarg: 120 mm. Gruix: 25 mm. **Eix motor:** Diàmetre: **55 mm** Altura eix: 200 mm respecte la base del motor **Brida de 4 forats:** Distancia entre forats: diàmetre 350 mm Diàmetre de centratge: 300 mm Diàmetre forats: M14 Profunditat forats: 51mm

	Tipus de bancada: Bancada única, per poder assegurar una bona alineació dels eixos i major rigidesa del conjunt.
Muntatge reductor	**Llarg**: 756,5 mm **Ample**: 400 mm **Alt**: 398 mm **Eix d'entrada al reductor:** Diàmetre: 55 mm (xavetat) **Eix de sortida del reductor** Diàmetre: 70 mm (xavetat) El reductor anirà collat a la brida del motor, i també a l'estructura per mitjà dels peus dels que disposa. **Brida de 4 forats:** Distancia entre forats: 350 mm Diàmetre del centratge: 300 mm Diàmetre de forats: 16 mm passants
Dimensions muntatge motor - reductor	**Llarg**: 1.318 mm **Ample**: 542 mm **Alt**: 871 mm
Pes motor	500 kg 145 kg (sistema de refrigeració)
Pes reductor	190 kg
Pes muntatge motor-reductor	835 kg
Requeriments funcionals	**Parell a suportar:** 2000 Nm

	Altura de l'eix del motor respecte la xapa làser: L'altura del motor respecte la xapa làser s'ha d'adaptar a l'altura de les PTO de 6 acanalades, ja que la potencia que poden transmetre les PTO de 21 acanalades serà superior a la potencia de la instal·lació. Segons la norma ISO 500 l'altura respecte el terra de les PTO de 6 acanalades varia de 450 a 675 mm. Es realitzarà l'altura de l'eix del motor a 450 mm respecte la xapa destinada a collar les màquines i amb uns peus regulables es variarà l'altura de la estructura **(50 mm)** i la resta es tindran que realitzar acoblaments per aixecar el motor. **Per altra banda, s'han de col·locar 4 argolles per poder desplaçar l'estructura per la nau,** per saber els punts a escollir s'ha de realitzar el càlcul del centre de gravetat. **Sistema per regular l'altura de la bancada amb el terra:**Peus regulables en altura, amb una base de goma per evitar transmetre les vibracions.
Dimensions bancada part motor	**Llarg**: 740 mm **Ample**: 440 mm **Altura dels punts d'anclatge del motor, respecte la xapa de làser**: 255 mm **Distancia entre la part del motor i la part de les màquines:** 260 mm

Requeriments bancada part maquines	**Llarg**: 2000 mm **Ample**: 1300 mm **Distancia dels punts per collar màquines:** Es te que realitzar una matriu de forats roscats, amb una separació entre forats de : 100 mm de cantó **Tipus de forats**: Els forats tenen que ser roscats amb unes dimensions proporcionals a la profunditat del forat roscat, i tenint en compte que la qualitat de l'acer de la xapa serà molt inferior a la del cargol, el diàmetre del forat roscat ha de ser de M-12, d'aquesta manera la rosca treballa de manera optima.
Dimensions generals del banc d'assaig.	**Altura màxima respecte el terra:** 1.531 mm **Amplada màxima:** 1.500 mm **Llargada:** 3.000 mm

Taula 1.20. Resum dels requisits de disseny.

1.11. Disseny de la bancada

1.11.1. Disseny inicial

La bancada inicial es volia realitzar en 2 parts, una bancada per suportar el motor i un altra per subjectar les màquines. Però durant el disseny de la part del motor es va observar que d'aquesta forma no es pot assegurar un bon alineament dels eixos del motor i de la resta d'elements a acoblar. Per altra banda el disseny es va realitzar en xapa, amb la qual cosa es produirien una gran quantitat de vibracions. A més el muntatge s'ha de realitzar sense silentblocs entre el motor i la bancada, ja que també influeix en el alineament dels eixos.

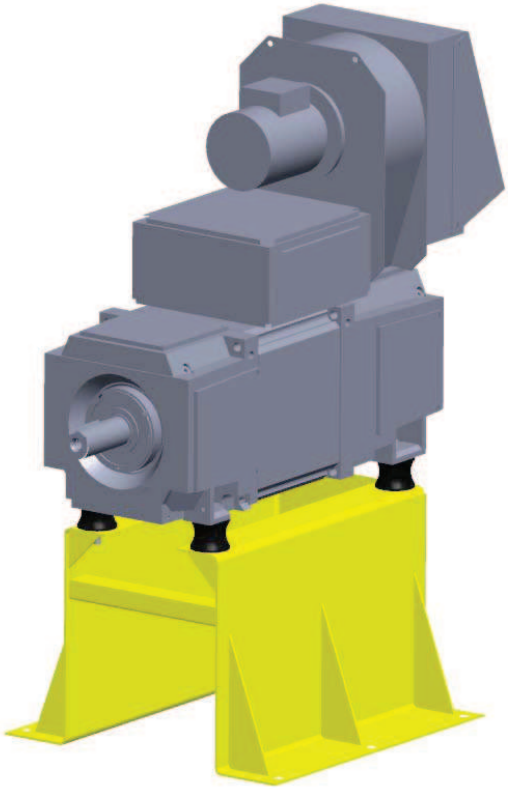


Figura 1.98. Bancada inicial per suportar el motor.

1.11.2. Evolució

L'evolució del disseny ha set un procés amb grans canvis, pel que fa al concepte de la bancada, és a dir, passar d'una bancada dividida en dues parts a una bancada única.
També ha canviat notablement en els elements utilitzats per la seva construcció. Un d'aquests canvis produïts ha estat la substitució d'una base sísmica amb canals mecanitzades, per una xapa de 15 mm tallada amb laser amb una matriu de forats roscats de diàmetre M-12, separats entre ells 100 mm, d'aquesta manera s'ha reduït el cost de fabricació del conjunt.

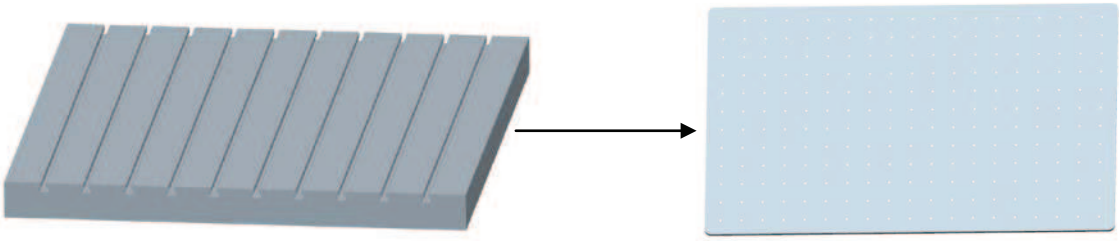


Figura 1.99. Base sísmica (esquerra) i xapa amb matriu de forats roscats (dreta).

1.11.3. Disseny final

El disseny final de la bancada s'ha realitzat amb un tub estructural quadrat de dimensions 120 x 6 mm amb reforços realitzats amb tub estructurals rectangular 120 x 80 x 6 mm.
La part de l'estructura on es realitzarà el motor està alçada 240 mm de la resta de la bancada.
El motor es recolzarà sobre quatre suports rectangulars de dimensions 120 x 80 x 25 mm. Aquests suports tenen un forat roscat en el seu centre geomètric de diàmetre M 16.
La part de la bancada destinada a subjectar les màquines a assajar està formada per la part d'estructura realitzada amb tub estructural i per una xapa de 15 mm, tallada amb laser, amb una matriu de forats roscats de M 12 amb una separació entre ells de 100 mm.

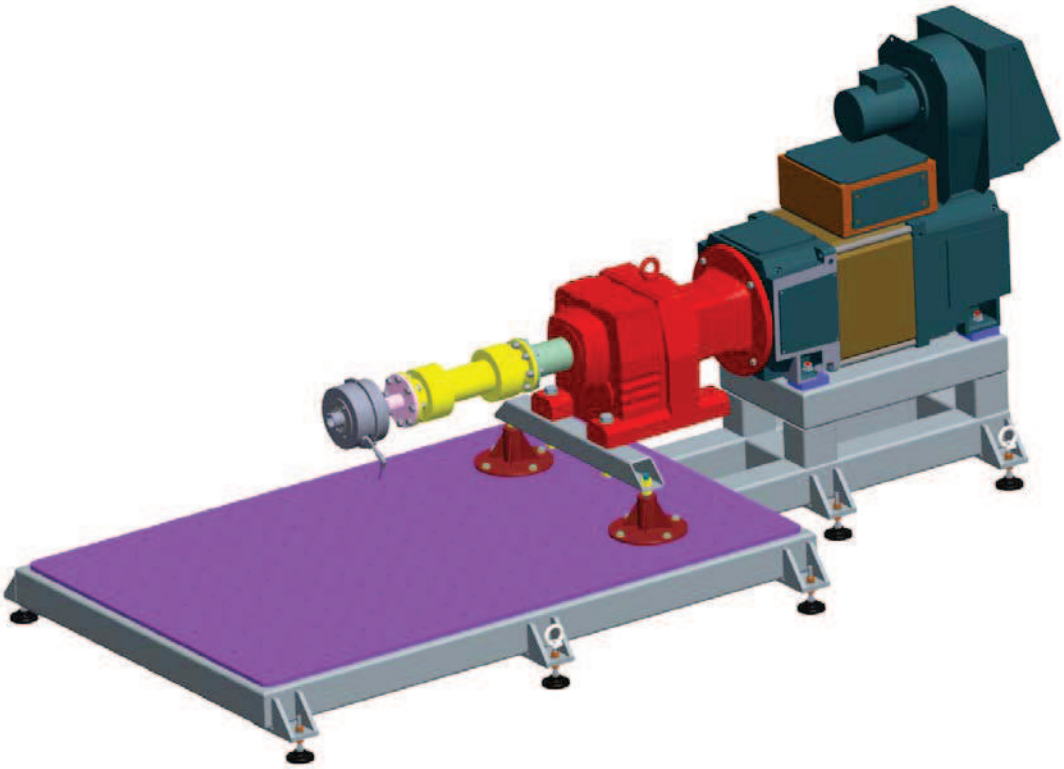


Figura 1.100. Disseny final de la bancada, en aquest cas amb el muntatge amb reductor.

1.12. Planificació del projecte

En aquesta secció es descriu la planificació seguida en la realització del present projecte. En la taula 1.21 es mostra el diagrama de Gantt seguit en cada mes. Cada mes s'ha dividit en quatre setmanes ja que els caps de setmana no es comptabilitzen.

	Octubre				Novembre				Desembre				Gener				Febrer				Març				Abril				Maig				Juny			
Cerca d'antecedents	■	■	■	■																																
Informació bibliogràfica			■	■	■	■																														
Anàlisi i elecció del rang de parell i vel. angular				■	■	■																														
Anàlisi dels requeriments de mesura					■	■	■	■	■	■																										
Anàlisi i elecció del motor									■	■	■	■	■	■																						
Anàlisi i elecció del fre									■	■				■																						
Normativa i reglamentació											■	■	■																							
Anàlisi dels aparells de mesura													■	■	■	■																				
Sistema de control														■	■	■	■						■	■												
Sistema d'adquisició de dades																■	■	■	■																	
Sistemes de transmissió i fixació																				■	■	■					■	■								
Memòria			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■													
Annexes														■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
Plànols														■	■	■												■	■	■	■	■				
Plec de condicions																										■	■	■								
Estat d'amidaments																										■	■									
Pressupost																											■	■	■							
Revisió del projecte	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Elaboració final																																	■	■	■	■

Taula 1.21. Diagrama de Gantt de la realització del projecte.

1.13. Conclusions

En l'actualitat existeix múltiples alternatives per al disseny d'un banc d'assaig. En la realització d'aquest projecte, s'ha pogut observar que les diverses alternatives de disseny, queden reduïdes considerablement per la multitud de funcions que ha de realitzar el banc d'assaig.
S'ha escollit com a potencia màxima d'assaig del banc, 55 kW, ja que la majoria de màquines que tenen una potencia superior a la d'assaig, no es poden provar amb tot el seu potencial en el banc d'assaig, ja que en aquests cassos només es poden treballar amb buit.

El motor, és l'element més important del banc d'assaigs, perquè aquest permet realitzar proves amb diferents estats de funcionament, ja siguin motors com màquines accionades. El motor elèctric realitza també la funció de fre en la realització d'assaigs de motors. El motor – fre que millor s'adapta a les necessitats d'assaig de les diferents màquines és un motor elèctric de CC, perquè aquest motor permet variar el regim de treball del mateix, variant la tensió d'alimentació dels debanats del rotor i també permet variar el parell que transmet variant l' intensitat d'alimentació. Per altra banda aquest motor et permet treballar en els quatre quadrants, requisit indispensable per poder assajar les diferents màquines plantejades, ja siguin motors, transmissions o màquines accionades.

Però aquest motor te el problema que necessita un convertidor de CA trifàsica a CC, i aquest equip només realitza la funció de rectificació de CA, per convertir-la en CC, sense realitzar funcions de transformador. Aquest fet provoca, que quan el motor està funcionant a un regim baix i transmet el parell nominal, el cos φ d'aquest disminueix considerablement, provocant un consum excessiu de potencia elèctrica, per la potencia que subministra el motor, amb la qual cosa, una bona part d'aquesta potència elèctrica es transforma en potencia reactiva, fet que fa necessari la instal·lació d'una bateria de condensadors per corregir dita potència.

En aquest projecte s'ha utilitzat l' instrumentació de la Fundació MAQCENTRE, amb la qual s'ha realitzat aquest projecte.

Finalment, segons l'apartat 6.3 el pressupost general del banc d'assaigs de màquines i transmissions rotatives utilitzades en maquinària agrícola és de 32.690,49 €

2. ANNEXES

Índex dels annexes

Índex de figures

Índex de taules

2.0. Anàlisi del motor

A partir del rang de potència requerit en l'apartat 1.7.4, s'ha buscat diferents alternatives que el mercat ofereix en motors.

Per conèixer quin és el tipus de motor més interessant des del punt de vista del funcionament i control, s'ha realitzat una taula amb les principals avantatges i inconvenients de cadascun dels diferents tipus de motors.

Tipus de motor	Avantatges	Inconvenients
Motors de combustió interna diesel	- Autonomia molt elevada - Regim de revolucions del motor elevat - Facilitat per variar el regim de revolucions del motor	-Producció de gasos d'escapament - Parell moderat - Manteniment elevat -Precisió baixa alhora de regular el regim de revolucions - Rendiment moderat
Motors de combustió interna de cicle Otto	- Autonomia elevada - Regim de revolucions del motor molt elevat - Facilitat per variar el regim de revolucions del motor	-Producció de gasos d'escapament - Parell baix - Manteniment elevat -Precisió baixa alhora de regular el regim de revolucions - Rendiment baix
Motors elèctrics trifàsics de gàbia d'esquirol de CA	- Motor poc contaminant - Parell molt elevat - Facilitat de connexió a un punt de distribució de la xarxa elèctrica - Rendiment molt elevat - Possibilitat de treballar en el quatre quadrants.	- Motor amb regim de voltes constant - Necessitat d'un variador de freqüència per poder variar el regim de revolucions d'aquest. - Manteniment moderat - Cost molt elevat de l'equip de regulació del motor en els quatre quadrants.

Taula 2.1. Comparativa de diferents tipus de motors. (part 1)

Tipus de motor	Avantatges	Inconvenients
Motors elèctrics brushless	- Motor poc contaminant - Parell molt elevat - Precisió molt elevada en la regulació del regim de revolucions - Facilitat de connexió a un punt de distribució de la xarxa elèctrica -Manteniment pràcticament nul - Rendiment molt elevat	- Necessitat d'un sistema de control del motor molt acurat. - Necessitat d'un encòder o d'un altre element capaç de detectar la posició de gir de l'eix del motor.
Motors de CC	- Motor poc contaminant - Facilitat de connexió a un punt de distribució de la xarxa elèctrica - Facilitat per variar el regim del motor - Precisió elevada en la regulació del regim de revolucions - Facilitat per variar el parell a transmetre - Facilitat per regular amb precisió el parell a transmetre - Rendiment molt elevat - Possibilitat de treballar en els quatre quadrants	- Necessitat d'un rectificador de CA a CC. - Manteniment moderat - Motors poc estàndards - Necessitat d'un sistema de regulació del motor en els quatre quadrants.

Taula 2.1. Comparativa de diferents tipus de motors. (part 2)

A partir dels següents requisits s'escollirà el tipus de motor:

- Motor poc contaminant, ja que d'aquesta manera es redueix l' necessària, ja que no es necessari la part d'aquesta destinada a l'extracció de fums.
- Al ser una màquina estàtica, no necessita autonomia, sinó facilitat de connexió a un punt de distribució d'energia
- Facilitat i precisió de regulació de la velocitat del motor

Com s'ha pogut observar els motors de combustió interna no compleixen el requisits plantejats. Per tant només es contemplen alternatives de motors elèctrics, per les característiques tècniques d'aquests, com poden ser: capacitat de variació de carrega del motor, rendiment elevat, motors poc contaminants, facilitat de distribució i consum de l'energia elèctrica i sobretot per la seva capacitat per treballar en els quatre quadrants, és a dir, com motor, fre-generador i fre. Que es una de les característiques que ens és molt útil a l'hora de dissenyar el banc d'assaig, per la gran diversitat de punts de funcionament i de màquines a assajar que s'han plantejat.

Dintre dels motors elèctrics, s'han estudiat varies alternatives.

El primer tipus de motor que s'ha estudiat es el motor de CA de gàbia d'esquirol amb diverses variants.

2.0.1. Motors de gàbia d'esquirol de 2 pols

- Estudi de l'evolució del parell dels motors de fosa

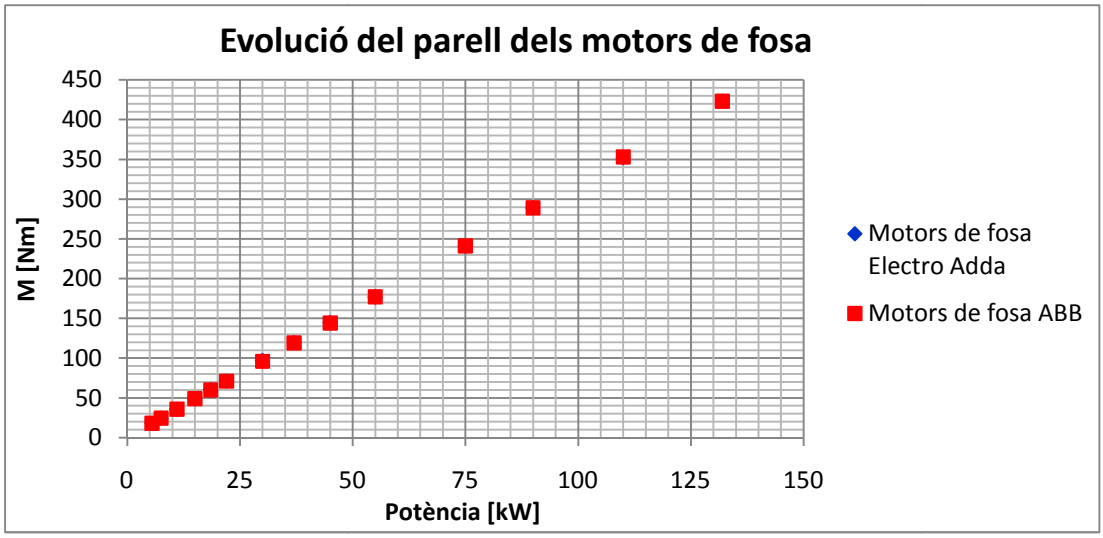


Figura 2.1. Evolució del parell dels motors de fosa de 2 pols.

Com es pot observar la distribució del parell és pràcticament igual pels dos fabricants. Per tant, amb aquesta gràfica no es pot treure cap tipus de conclusió.

- Estudi de l'evolució del pes en els motors de fosa

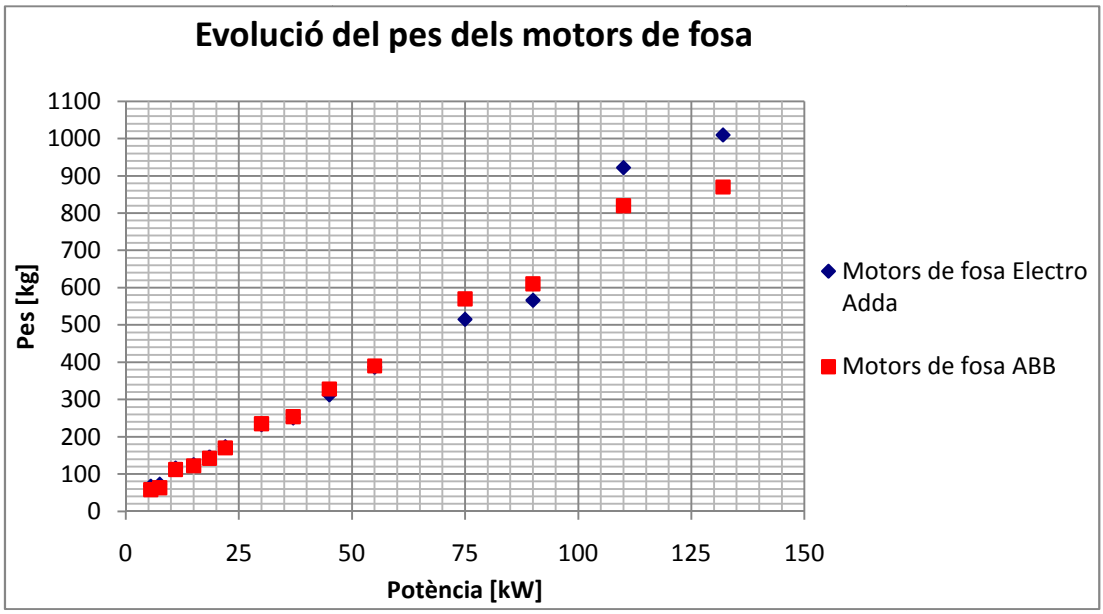


Figura 2.2. Evolució del pes dels motors de fosa de 2 pols.

Com es pot observar en aquest gràfic, els motors ABB tenen un pes inferior a partir de 110 kW, en canvi els motors Electro Adda tenen un tram des de 75 kW fins als 90 kW on en el seu pes es lleugerament inferior. Però en la potència que es necessita pel motor del banc, 55 kW, els dos motors tenen pesos molt semblants, per tant, tampoc es poden treure conclusions d'aquesta gràfica.

Una vegada arribat amb aquest punt es procedeix a l'estudi dels motors d'alumini de 2 pols

- Estudi de l'evolució del parell en funció de la potència de diferents fabricants

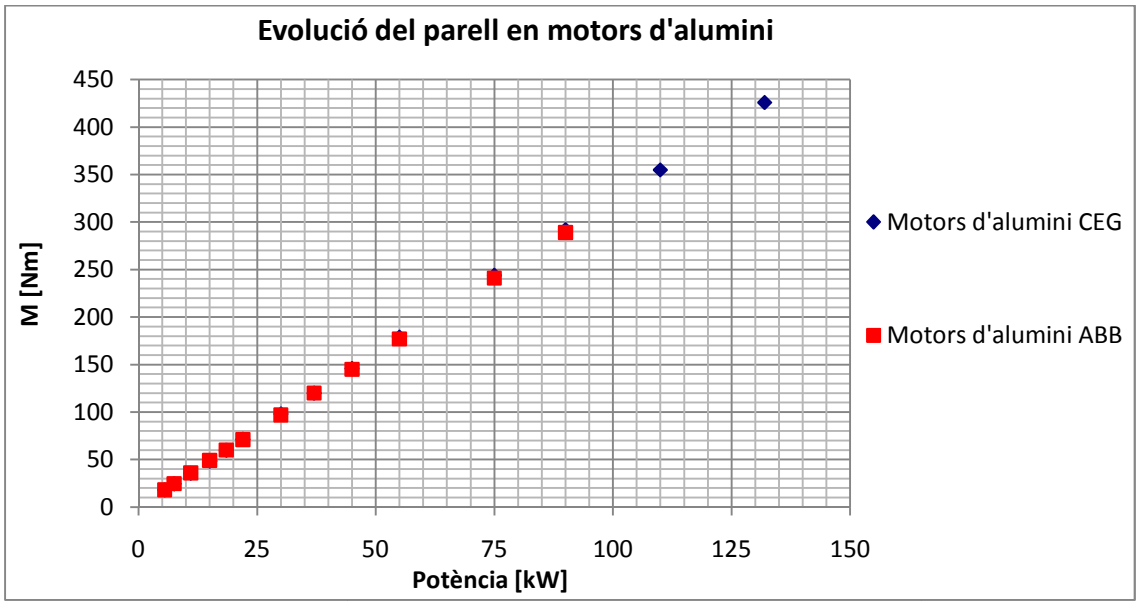


Figura 2.3. Evolució del parell dels motors d'alumini, de 2 pols.

En la gràfica 2.3 s'observa que la distribució del parell dels motors dels diferents fabricants són iguals fins a 90 kW. Dintre d'aquest rang es troben els motors amb la potència definida com a màxima pel banc.

- Estudi de l'evolució del pes en funció de la potència de diferents fabricants

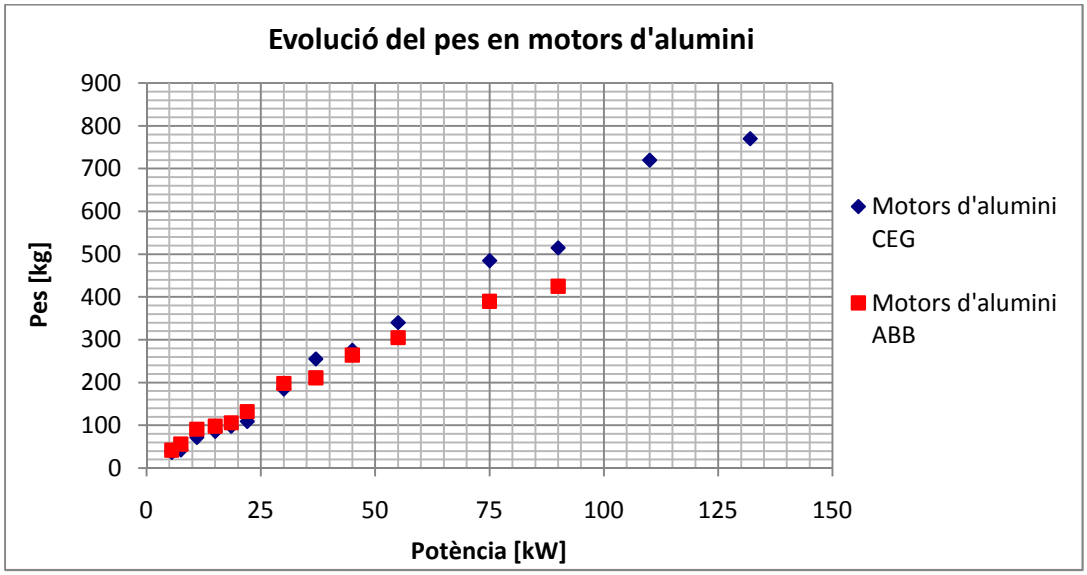


Figura 2.4. Evolució del pes dels motors d'alumini de 2 pols.

En aquesta gràfica s'observa que el motor d'alumini ABB te un pes lleugerament inferior que el de l'altre fabricant, per tant aquesta característica fa que aquest motor sigui més apropiat per l' instal·lació. Però una vegada comparats els motors segons el material de construcció, s'ha realitzat una comparació conjunta on es pot observar les característiques del diferents motors de dos pols alhora.

- Comparació de les diferents distribucions d'entrega del parell en funció de la potència dels diversos fabricants.

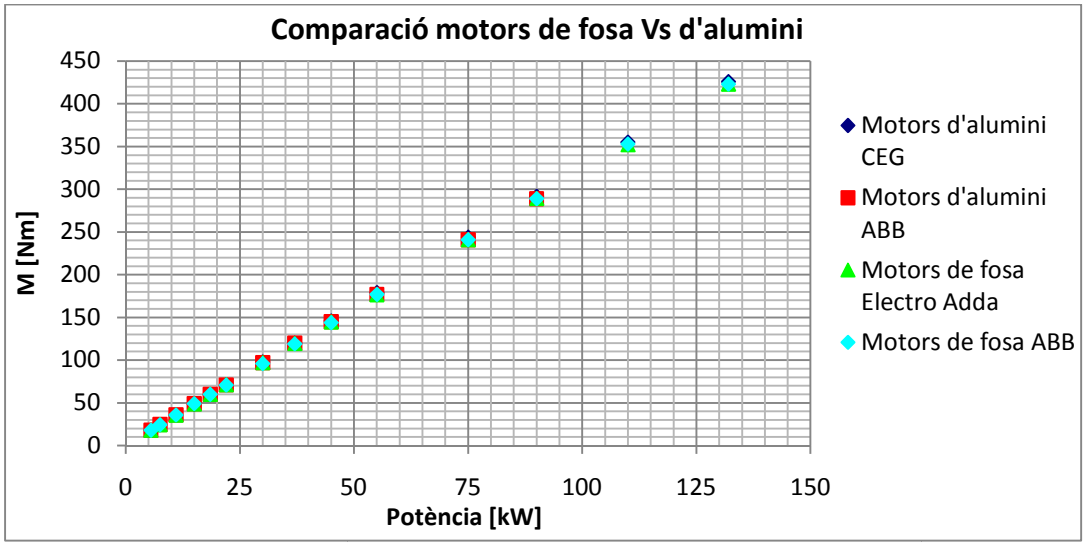


Figura 2.5. Comparació de parell dels motors de fosa Vs. d'alumini, de 2 pols.

Com es pot observar en la gràfica anterior la distribució del parell en funció de la potència dels motors es pràcticament la mateixa per a tots els casos.

- Estudi de la distribució del pes en funció de la potència dels diferents motors

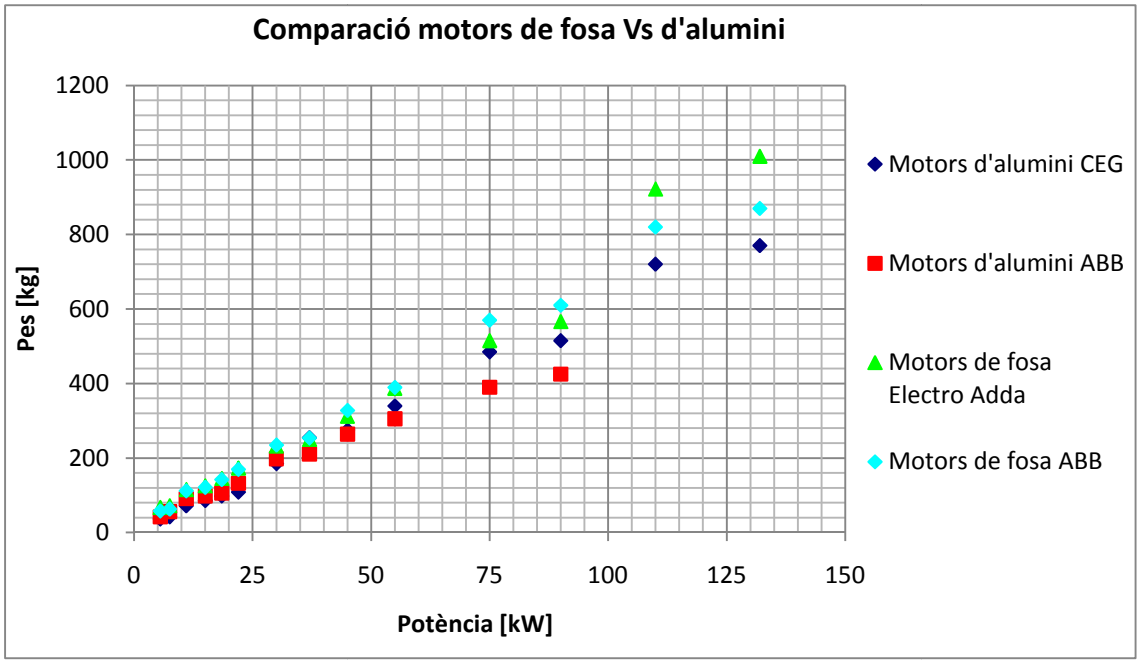


Figura 2.6. Comparació de pes dels motors de fosa Vs. d'alumini, de 2 pols.

En aquest gràfic s'aprecia que els motors que tenen unes prestacions lleugerament superiors a la resta són els motors d'alumini ABB.

Per últim en l'estudi de motors de CA de gàbia d'esquirol de dos pols, s'ha realitzat una comparació dels diferents motors de 55 kW. Aquesta comparació s'ha realitzat amb una taula que conté les característiques principals de cada motor.

	Motor d'alumini ABB M2AA 250 SMA	**Motor d'alumini CEG M250M**	**Motor de fosa ABB M2QA 250 M2A**	**Motor de fosa Electro Adda 250M-2**
Pes [kg]	295	340	390	387
Dimensions [llarg x ample x alt] [mm]	880 x 406 x 604	885 x 447 x 562	930 x 515 x 480	910 x 490 x 620
Parell màxim [Nm]	177	179	177	176,5
Vel. ang. a 400 V CA [min-1]	2.964	2.940	2.960	2.975
Potència a 400 V CA [kW]	55	55	55	55
Intensitat [A]	94	93	96	94,7
Rendiment motor a plena carrega [%]	92,4	93	93,4	93,5
Soroll [dB(A)]	75	-	84	-
Preu motor [€]	3.945	3.946	3.945	-

Taula 2.2. Comparació dels diferents motors de 55 kW, amb 2 pols.

Com ja s'ha vist anteriorment els motors que tenen un pes mes reduït són els motors d'alumini ABB, també s'ha pogut observar que l'evolució del parell dels motors es pràcticament la mateixa en tots, per tant dels motors estudiats, els més atractius per prestacions i preus dels motors de 2 pols de gàbia d'esquirol són sens dubte els motors d'alumini ABB.

2.0.2. Motor de gàbia d'esquirol de 4 pols

- Estudi de l'evolució del parell dels motors de fosa

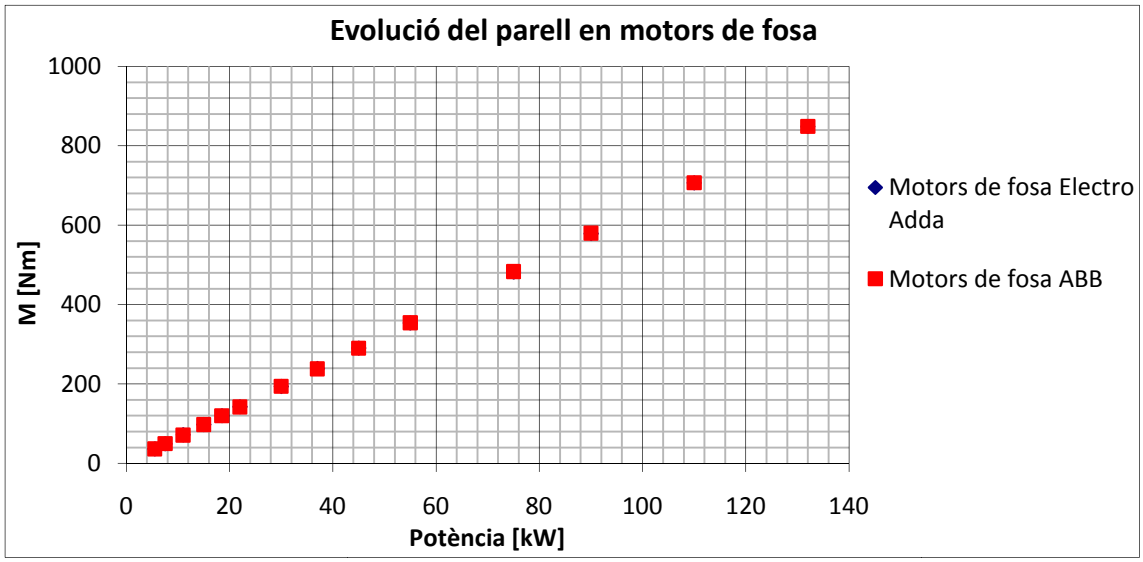


Figura 2.7. Evolució del parell de motors de fosa de 4 pols.

Com succeeix amb els motors de dos pols, la distribució del parell de motors dels diferents fabricants analitzats es molt similar en tots els cassos.

- Estudi de l'evolució del pes en els motors de fosa

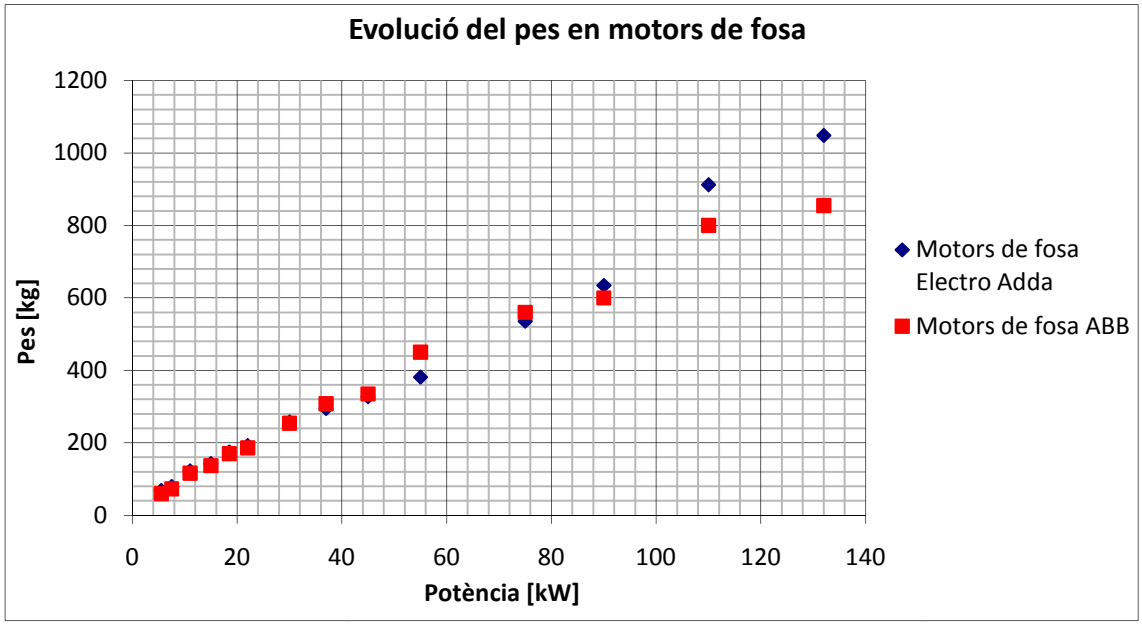


Figura 2.8. Evolució del pes de motors de fosa de 4 pols.

Com es pot observar en la figura 2.8, els motors ABB tenen un pes inferior a partir de 90 KW, en canvi els motors Electro Adda tenen un rang de motors, concretament des de 45 kW fins a 75 kW, on en el seu pes es lleugerament inferior.

Com ja s'ha realitzat anteriorment en l'anàlisi dels motors de dos pols, a continuació s'ha procedit a l'estudi dels motors d'alumini de gàbia d'esquirol de 4 pols.

- Estudi de l'evolució del parell en funció de la potència de diferents fabricants

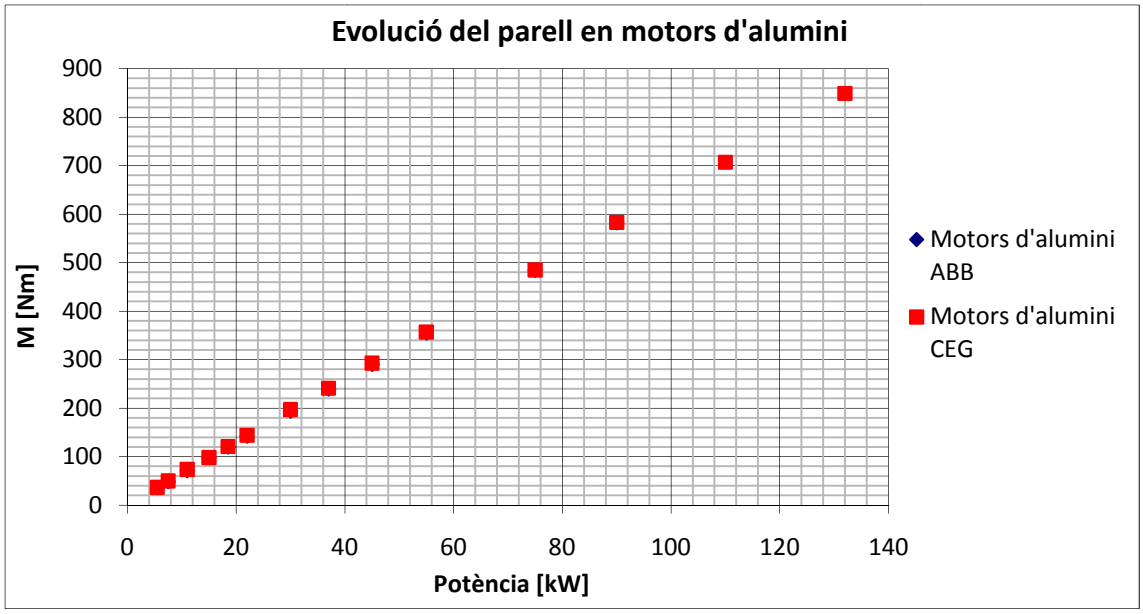


Figura 2.9. Evolució del parell de motors d'alumini de 4 pols.

En aquest cas, es produeix exactament el mateix que en tots els cassos analitzats anteriorment.

- Estudi de l'evolució del pes en funció de la potència de diferents fabricants

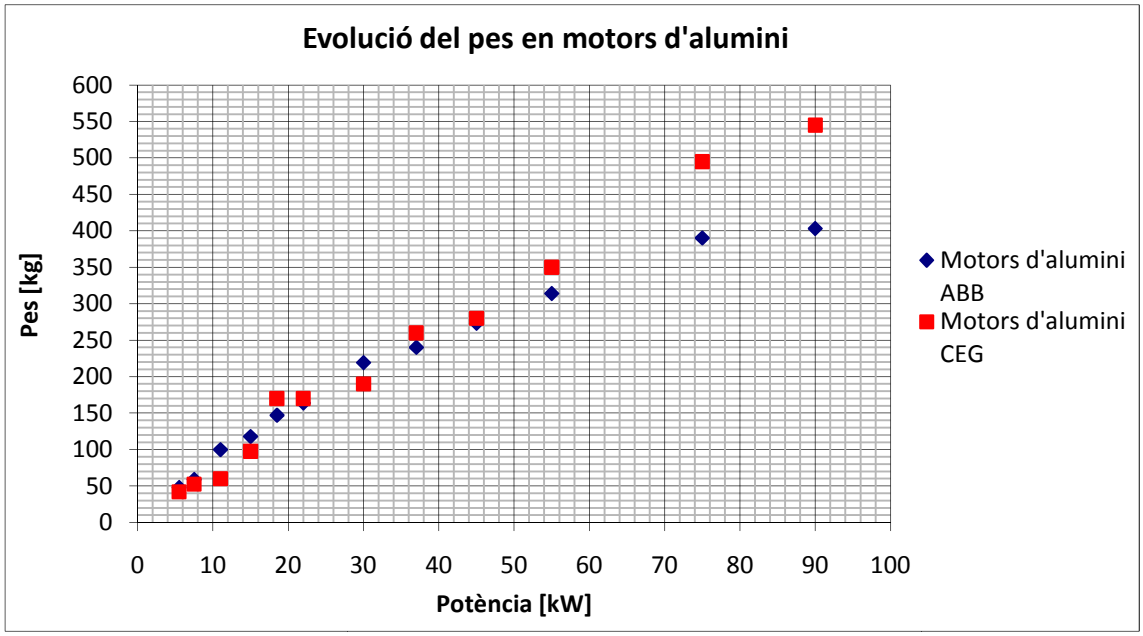


Figura 2.10. Evolució del pes de motors d'alumini de 4 pols.

En aquest cas es pot observar que hi ha una gran variabilitat de prestacions dels motors segons els rangs de potència, però concretament en 55 kW, els motors d'alumini ABB, tenen unes prestacions lleugerament superiors.

A continuació s'ha procedit per realitzar una comparació de les característiques tècniques dels motors de fosa amb els d'alumini.

- Comparació de les diferents distribucions d'entrega del parell en funció de la potència dels diversos fabricants.

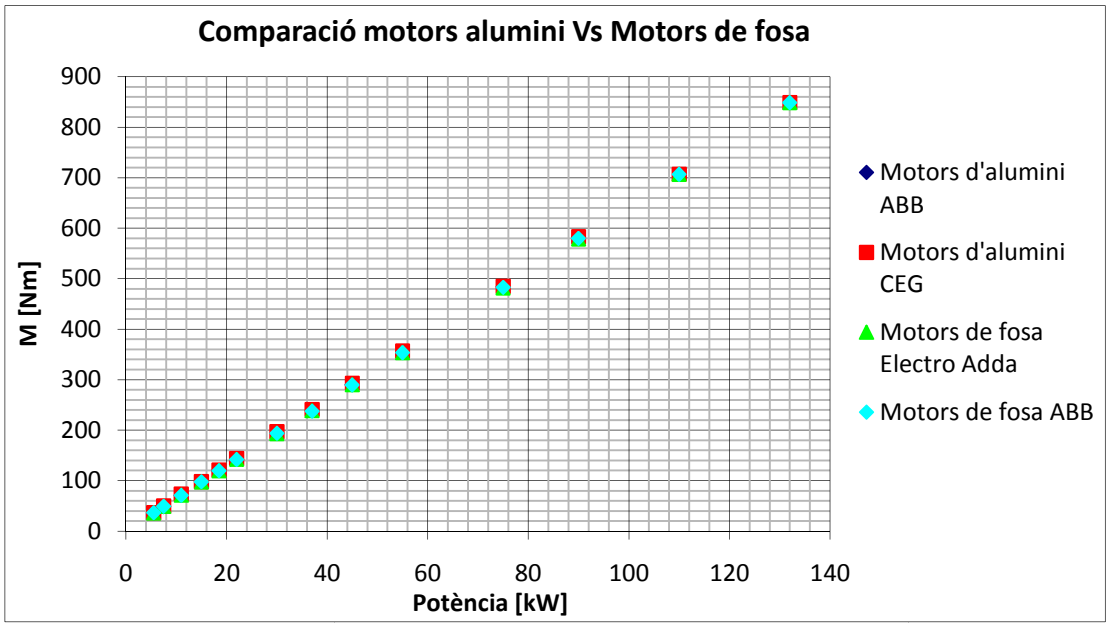


Figura 2.11. Comparació de parell de motors de fosa Vs. d'alumini, de 4 pols.

Com es pot observar en la gràfica anterior l'evolució del parell en funció de la potència dels motors es pràcticament la mateixa per a tots els casos.

- Estudi de la distribució del pes en funció de la potència dels diferents motors

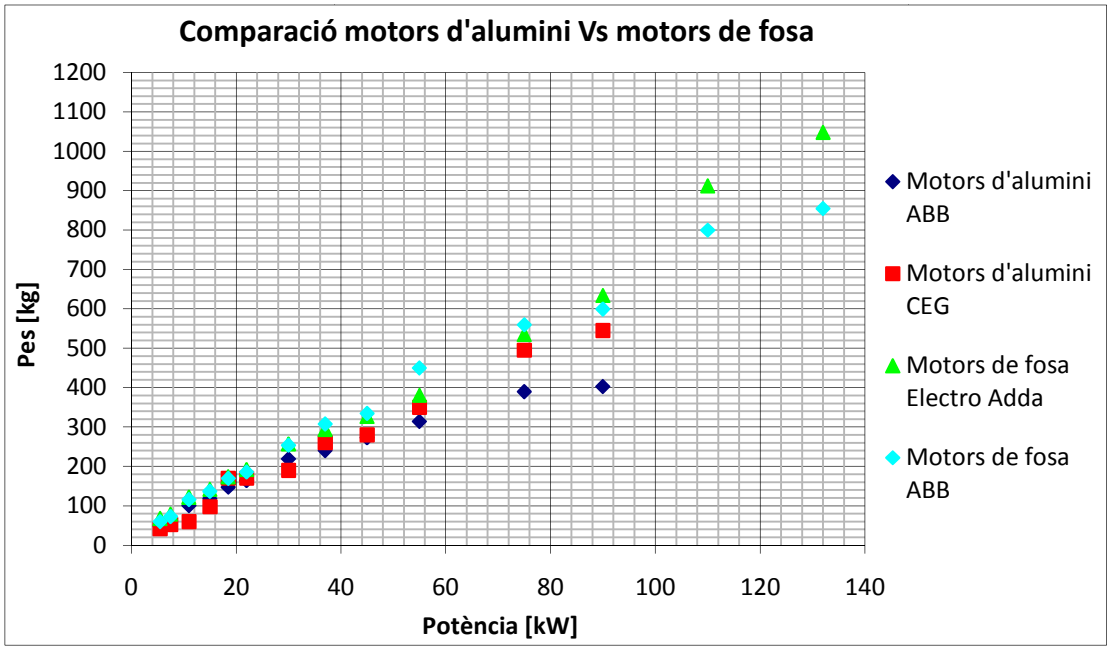


Figura 2.12. Comparació de pes de motors de fosa Vs. d'alumini, de 4 pols.

En aquest gràfic s'aprecia que els motors que tenen un pes mes reduït, són els motors d'alumini del fabricant ABB.

Per últim, es realitza una taula comparativa dels diversos motors de CA, de gàbia d'esquirol de 4 pols.

	Motor d'alumini ABB M2AA 250 SMA	Motor d'alumini CEG M250M	Motor de fosa ABB M2QA 250 M4A	Motor de fosa Electro Adda 250M-4
Pes [kg]	297	350	450	381
Dimensions [llarg x ample x alt] [mm]	880 x 406 x 604	885 x 487 x 562	930 x 515 x 580	910 x 490 x 620
Parell màxim [Nm]	355	357	354	353,7
Vel. ang. a 400 V CA [min-1]	1.478	1.470	1.480	1.485
Potència a 400 V CA [kW]	55	55	55	55
Intensitat [A]	100	101	98	96,5
Rendiment motor a plena carrega [%]	92,4	93	93,4	94,5
Soroll [dB(A)]	68	-	76	-
Preu motor [€]	3.811	3.675	3.811	-

Taula 2.3. Comparació dels diferents motors de 55 kW, amb 4 pols.

Per tant, també per a motors de 4 pols els motors més interessants per les seves característiques són els motors d'alumini del fabricant ABB. També s'ha de tenir en compte el preu, però com es pot observar el preu dels diferents motors es similar, per tant l'opció a escollir d'entre els motors de 4 pols són els motors d'alumini ABB.

2.0.3. Motors de gàbia d'esquirol de 6 pols

Aquest tipus de motors de CA de gàbia d'esquirol, són els últims pels quals es torna a fer els estudis realitzats per altres tipus de motors de gàbia d'esquirol, perquè el motor a seleccionar per la bancada, segons els punts de funcionament de l'apartat 1.7.3, està dins d'aquest rang de velocitats analitzats, és a dir, dins del rang de 1000 min^{-1} a 3000 min^{-1}, de velocitat de l'eix de sortida del motor.

Primerament s'ha estudiat l'evolució del parell en funció de la potència dels motors de fosa.

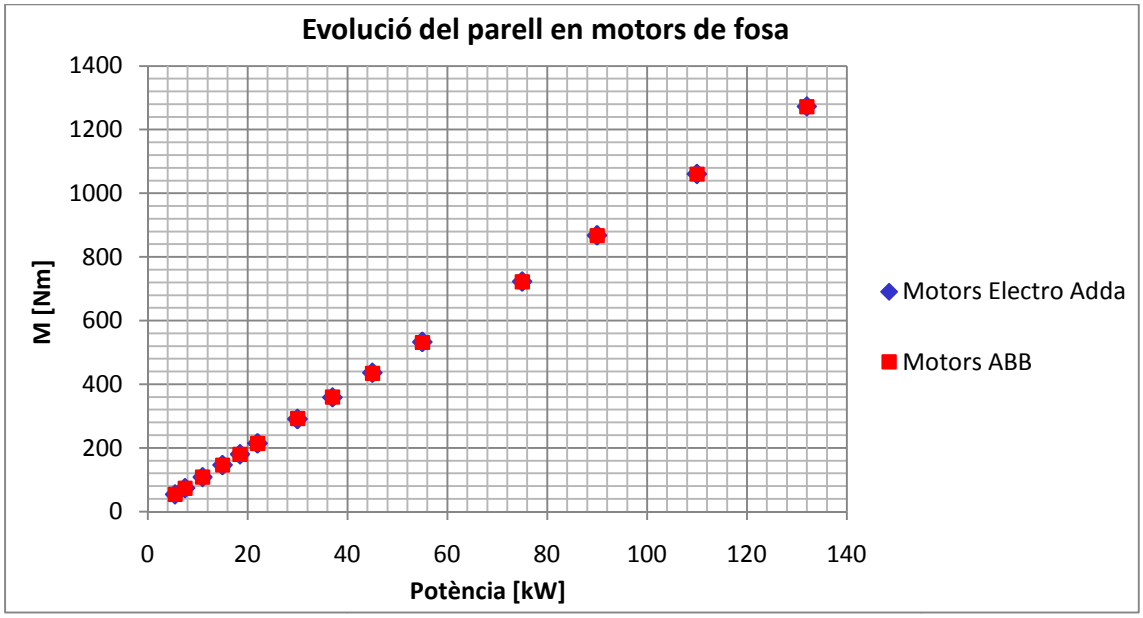


Figura 2.13. Evolució del parell de motors de fosa de 6 pols.

Com es pot observar les característiques tècniques dels motors dels dos fabricants són les mateixes, per tant d'aquest gràfic no es poden treure més conclusions.

També s'ha realitzat l'estudi de l'evolució del pes en funció de la potència.

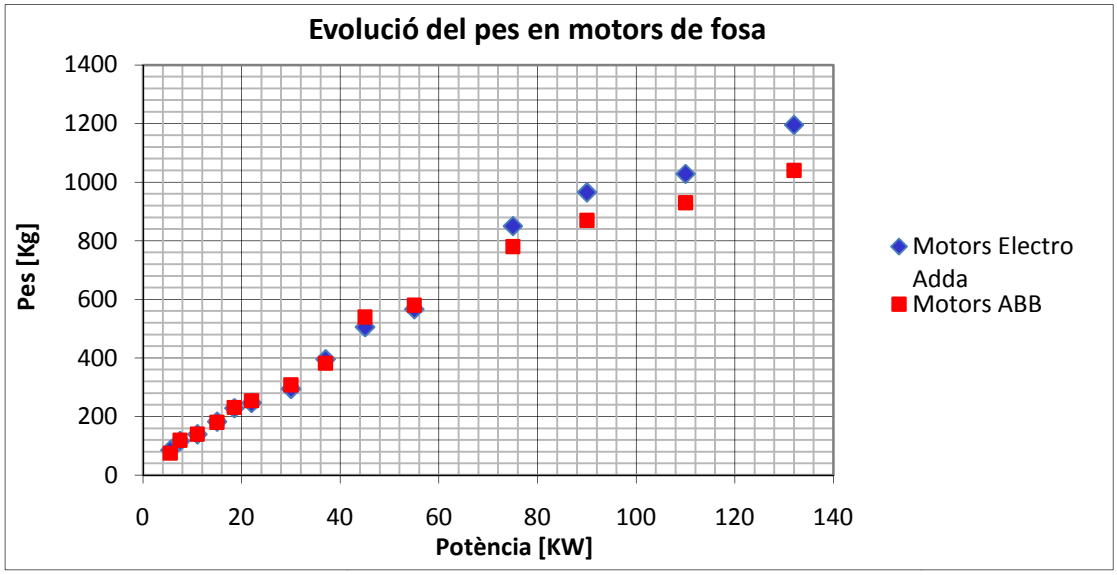


Figura 2.14. Evolució del pes de motors de fosa de 6 pols.

En aquest gràfic s'observa la variació del pes en funció de la potència, i com es pot veure fins als 55 kW la variació del pes és molt semblant entre els dos fabricants. En el nostre cas la potència del motor no serà superior a 75 kW, per tant tampoc es pot treure cap conclusió d'aquest gràfic.

A continuació s'han analitzat els motors d'alumini de diversos fabricants.

- Evolució del parell en funció de la potència

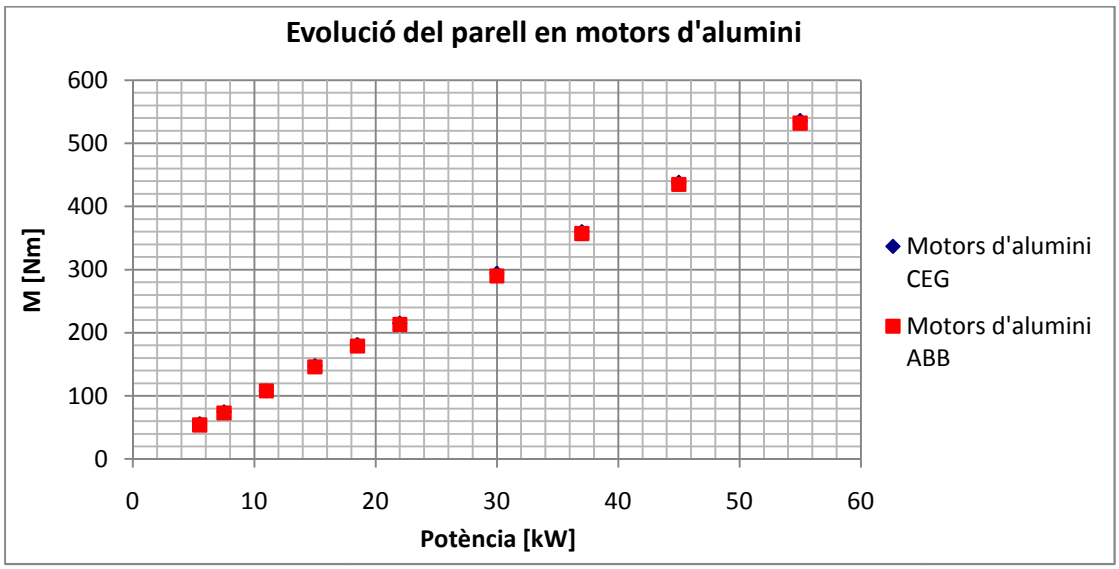


Figura 2.15. Evolució del parell de motors d'alumini de 6 pols.

Com s'ha pogut veure en les diferents gràfiques, en tots els cassos el parell es molt similar per a tot el rang de motors.

- Evolució del pes en funció de la potència

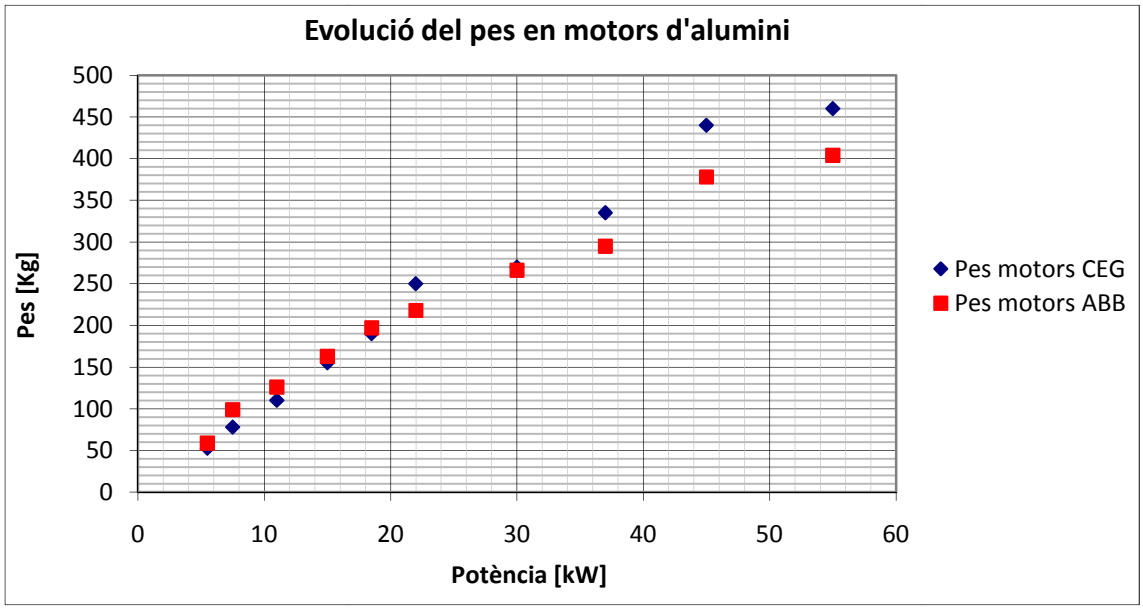


Figura 2.16. Evolució del pes de motors d'alumini de 6 pols.

Com es pot observar en la gràfica 2.16, per a potencies superiors a 30 kW els motors ABB tenen un pes més reduït que els motors CEG.

A continuació es realitza una gràfica per comparar les característiques dels diferents tipus de motors de diversos fabricants.

- Evolució del parell en funció de la potència

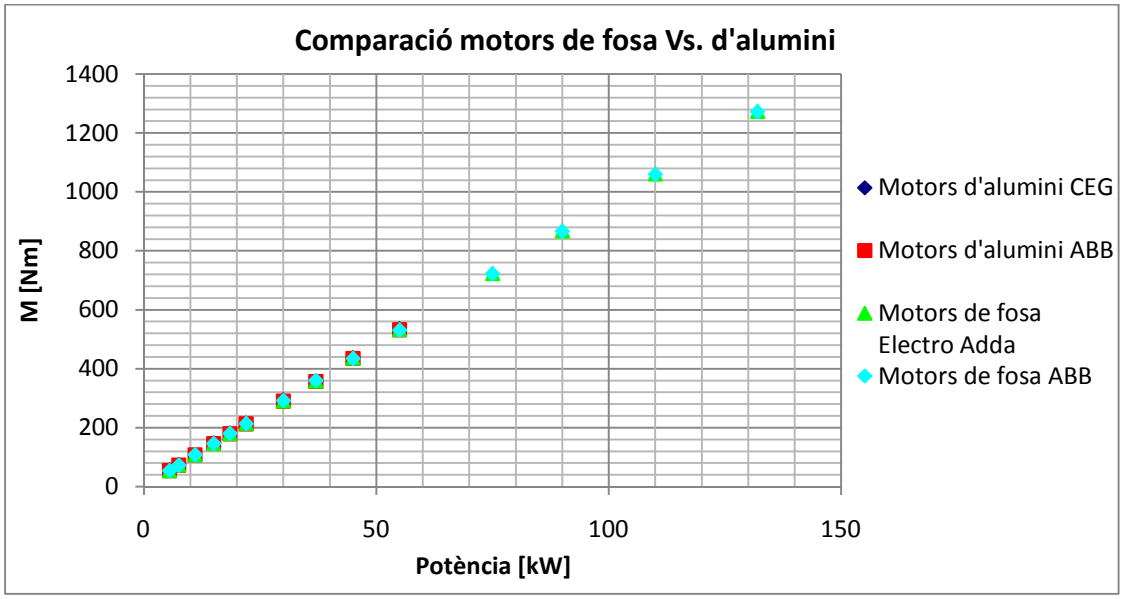


Figura 2.17. Comparació de parell de motors de fosa Vs. d'alumini, de 6 pols.

Com ja s'ha comentat altres vegades, d'aquest gràfic no hi ha diferencies apreciables entre els motors de diversos fabricants.

Per contra, en el gràfic que es presenta a continuació, les diferencies es fan més visibles.

- Evolució del pes en funció de la potència

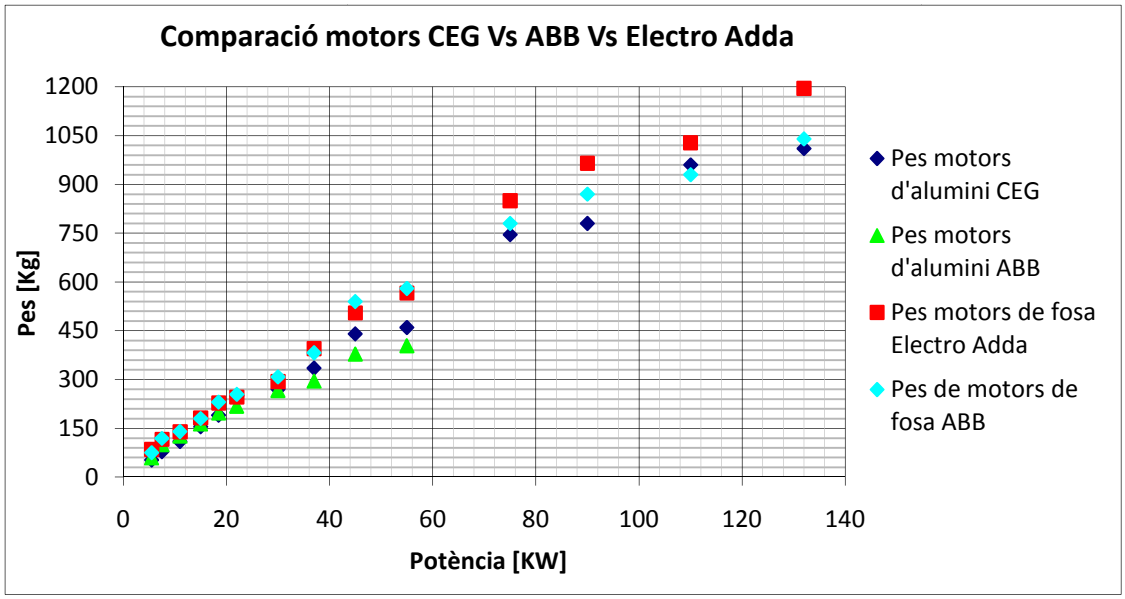


Figura 2.18. Comparació de pes de motors de fosa Vs. d'alumini, de 6 pols.

Com es pot observar en aquest gràfic, succeeix el mateix que en els motors de 2 i 4 pols, és a dir, que els motors que tenen les millors característiques són els motors d'alumini ABB.

Per últim, s'ha realitzat una taula comparativa dels diversos motors amb una potència de 55 kW.

	Motor d'alumini ABB M3AA 280 SMA	Motor d'alumini CEG M 280M	Motor de fosa ABB M2BAT 280 SMB	Motor de fosa Electro Adda 280M-6
Pes [kg]	404	460	580	566
Dimensions [llarg x ample x alt] [mm]	1.060 x 545 x 730	985 x 608 x 665	1.088 x 530 x 745	1.015 x 550 x 660
Parell màxim [Nm]	531	536	531	533
Vel. ang. a 400 V CA [min-1]	989	980	989	985
Potència a 400 V CA [kW]	55	55	55	55
Intensitat [A]	102	102	103	97,4
Rendiment motor a plena carrega [%]	93,4	92	93,7	93,8
Soroll [dB(A)]	66	-	71	-
Preu motor [€]	5.830	7.697	5.335	-

Taula 2.4. Característiques dels motors de diversos fabricants amb potència de 55 kW, de 6 pols.

Com es pot observar en la taula, els motors de 6 pols més interessants per característiques i per preu són els motors d'alumini ABB.

Una vegada estudiats el motors de gàbia d'esquirol s'ha procedit a l'estudi dels servomotors, perquè poden tindre prestacions superiors als motors analitzats.

Per realitzar aquest estudi s'ha escollit el fabricant ABB per la seva gran diversitat de motors que disposa. El que s'ha realitzat ha set la comparació de característiques dels servomotors amb les diverses variants de motors de gàbia d'esquirol del fabricant.

2.0.4. Estudi dels diferents motors de 2 pols del fabricant ABB.

- Evolució del parell en funció de la potència

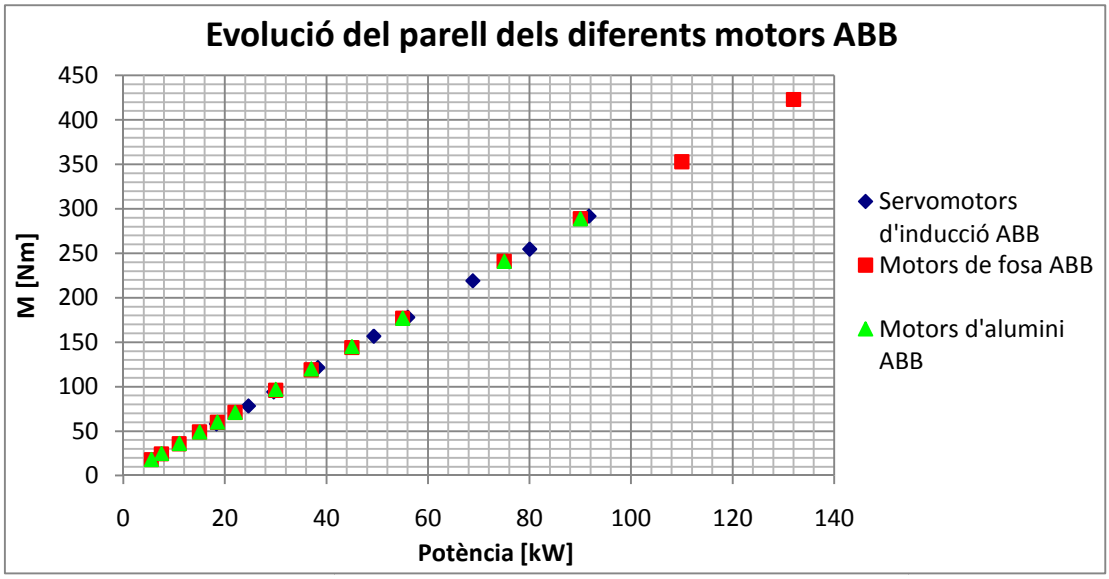


Figura 2.19. Evolució del parell dels diferents motors ABB, de 2 pols.

Com es pot observar en el gràfic, la distribució de parell de tots els motors es semblant, per tant amb aquest gràfic no es pot treure cap conclusió.

- Evolució del pes en funció de la potència

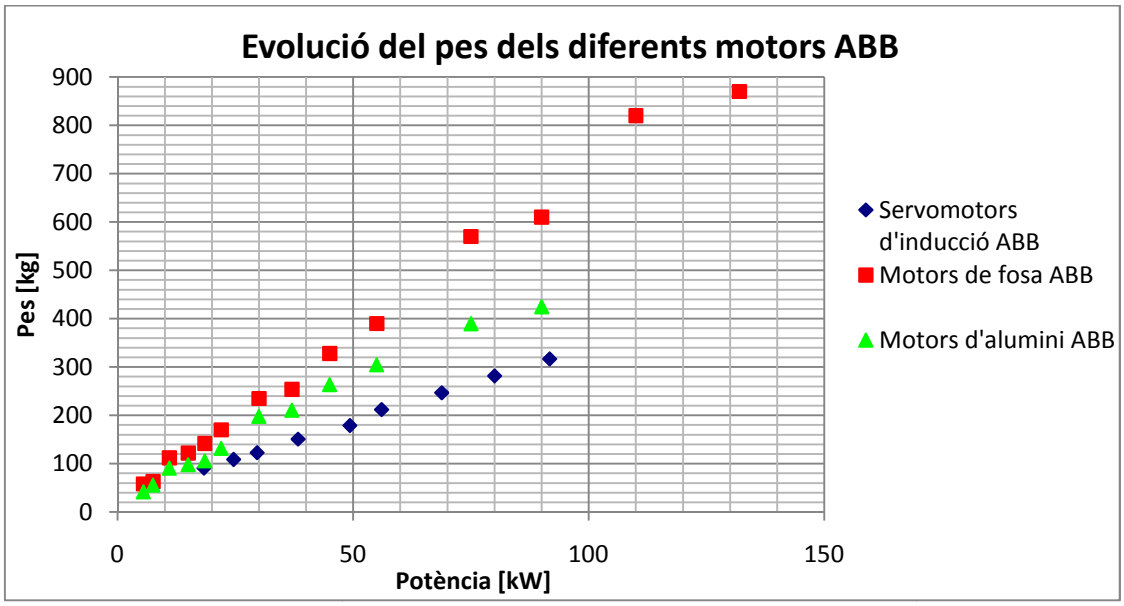


Figura 2.20. Evolució del pes dels diferents motors ABB, de 2 pols.

En aquest gràfic es pot observar que la distribució del pes es molt diferent, segons el tipus de motor. El tipus de motor amb millors característiques són els servomotors. A partir d'aquest gràfic s'ha realitzat una taula comparativa de les prestacions dels motors amb una potència de 55 kW o semblant, i del preu d'aquests.

	Motor d'alumini ABB M2AA 250 SMA	Motor de fosa ABB M2QA 250 M2A	Servomotor ABB CN2.5
Pes [kg]	295	390	212
Dimensions [llarg x ample x alt] [mm]	880 x 406 x 572	930 x 515 x 480	785 x 315 x 415
Parell màxim [Nm]	177	177	178,2
Vel. ang. a 400 V CA [min-1]	2964	2.960	3.000
Potència a 400 V CA [kW]	55	55	56
Intensitat [A]	94	96	97,2
Rendiment motor a plena carrega [%]	91	93,4	-
Soroll [dB(A)]	75	84	-
Preu motor [€]	4.326	3.945	3.112

Taula 2.5. Prestacions dels diferents tipus de motors de CA, amb 55 kW, del fabricant ABB de 2 pols.

Una vegada realitzada aquesta taula, es pot observar la diferencia de prestacions dels diversos tipus de motors de dos pols. En aquest cas, els motors més interessants són els servomotors, per preu i prestacions.

Després d'aquest estudi s'ha prosseguit amb els diversos tipus de motors de 4 pols.

2.0.5. Estudi dels diferents motors de 4 pols del fabricant ABB.

- Estudi de l'evolució del parell en funció de la potència

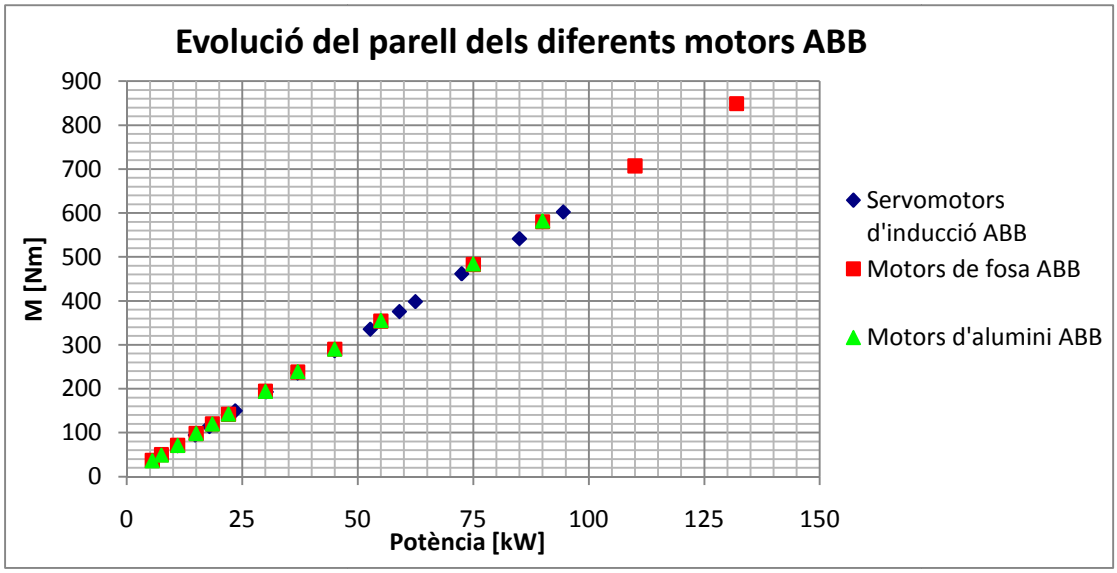


Figura 2.21. Evolució del parell de diferents motors ABB, de 4 pols.

Com en altres gràfiques comentades de l'evolució del parell en funció de la potència, no es pot treure cap conclusió.

- Estudi de l'evolució del pes en funció de la potència.

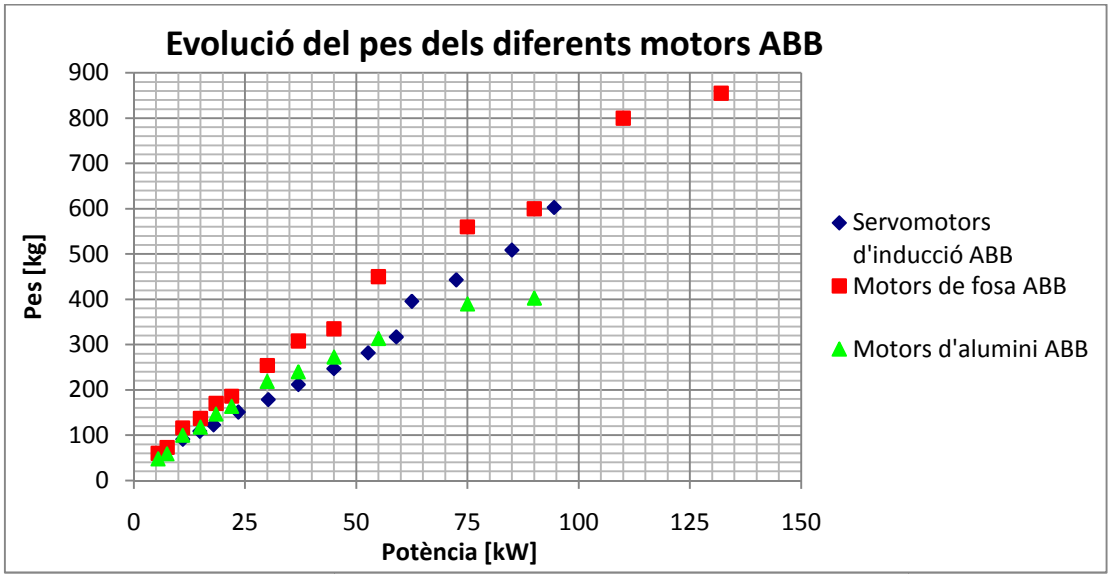


Figura 2.22. Evolució del pes de diferents motors ABB, de 4 pols..

En aquesta gràfica, es pot apreciar molt bé la diferencia que hi ha entre el pes dels diversos tipus de motors del fabricant ABB. En aquest cas,no hi ha motors amb unes prestacions clarament superiors a la resta.

Per últim s'ha realitzat una taula comparativa on apareixen les prestacions dels diversos motors de 55 kW, i els seus corresponents preus.

	Motor d'alumini ABB M3AA 280 SMB	Motor de fosa ABB M2QA 250 M4A	Servomotor ABB CN 5.2
Pes [kg]	297	450	317
Dimensions [llarg x ample x alt] [mm]	880 x 406 x 572	930 x 515 x 580	965 x 315 x 415
Parell màxim [Nm]	355	354	375
Vel. ang. a 400 V CA [min-1]	1478	1480	1.500
Potència a 400 V CA [kW]	55	55	59
Intensitat [A]	100	98	107,5
Rendiment motor a plena carrega [%]	85	93,4	-
Soroll [dB(A)]	68	76	-
Preu motor [€]	4.151	3.811	3.885

Taula 2.6. Prestacions dels diferents tipus de motors de CA, amb 55 kW, del fabricant ABB de 4 pols.

Un cop estudiats els diversos motors de 4 pols del fabricant ABB, s'ha prosseguit amb els motors de 6 pols.

2.0.6. Estudi dels diferents motors de 6 pols del fabricant ABB.

- Estudi de l'evolució del parell en funció de la potència

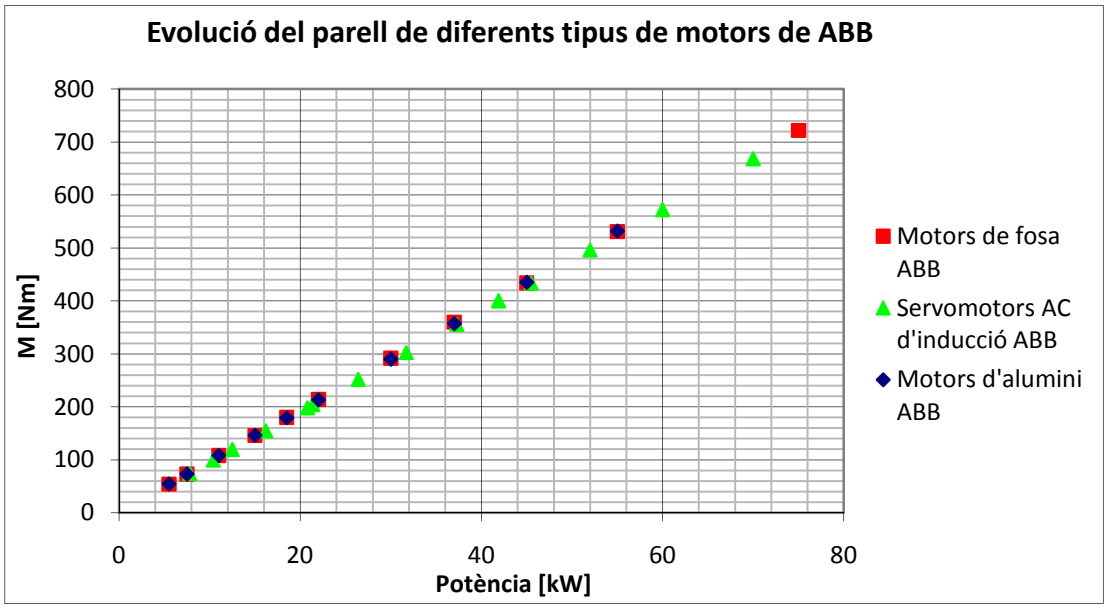


Figura 2.23. Evolució del parell de diferents tipus de motors ABB, de 6 pols.

En aquest cas, tampoc es pot treure cap conclusió de les prestacions dels motors estudiats.

- Estudi de l'evolució del pes en funció de la potència

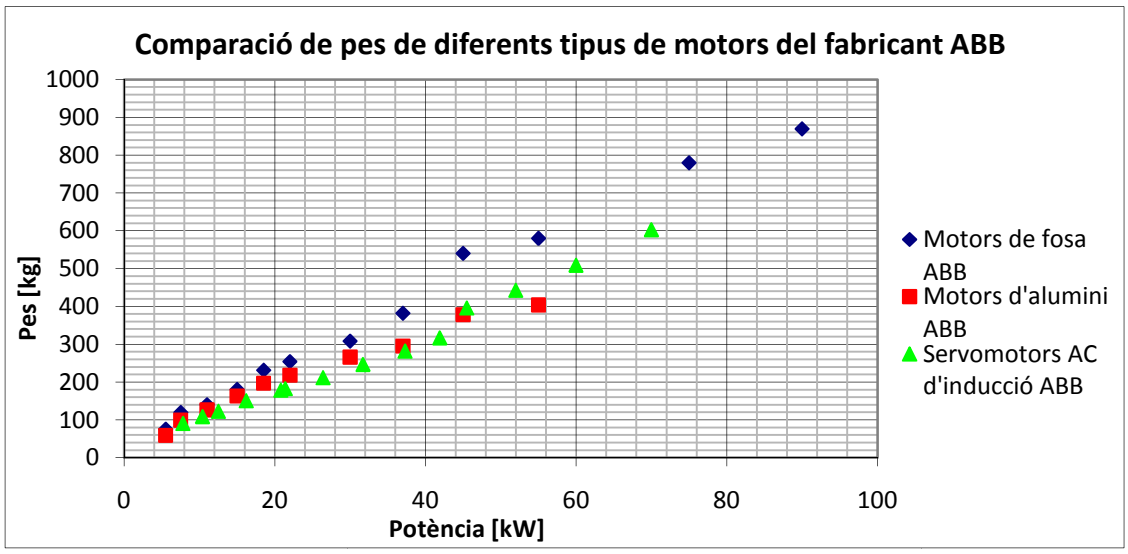


Figura 2.24. Evolució del pes de diferents tipus de motors ABB, de 6 pols.

Com s'ha vist en els motors de 6 pols, les característiques dels servomotors no destaquen excessivament sobre els motors de gàbia d'esquirol d'alumini, excepte per les propietats dels servomotors quan es produeix una gran demanda de sobrecarrega, però en el disseny del banc es busca un funcionament nominal, no un funcionament extrem com en certes aplicacions robòtiques.

S'ha realitzat una taula resum on es pot observar les característiques dels diversos tipus de motors del fabricant ABB per a una potència d'assaig de 55 kW.

	Motor d'alumini ABB M2AA 250 SMA	Motor de fosa ABB M2BAT 280 SMB	Servomotor ABB CR 4.1
Pes [kg]	531	580	509
Dimensions [llarg x ample x alt] [mm]	1.060 x 545 x 730	1.088 x 530 x 745	808 x 398 x 546
Parell màxim [Nm]	531	531	572,2
Vel. ang. a 400 V CA [min-1]	989	989	1.000
Potència a 400 V CA [kW]	55	55	60
Intensitat [A]	102	103	110,5
Rendiment motor a plena carrega [%]	93,4	93,7	-
Soroll [dB(A)]	66	71	-
Preu motor [€]	5.830	5.335	6.187

Taula 2.7. Prestacions dels diferents tipus de motors, amb 55 kW, del fabricant ABB de 6 pols.

Després d'estudiar diferents motors de CA, s'ha observat que aquests són motors que funcionen a una velocitat angular constant, i necessiten un variador de freqüència per poder variar la velocitat angular, fet que provoca un sobrecost del motor. Per altra banda, la potència del motor disminueix a mesura que varia la velocitat angular, per tant s'ha d'augmentar la potència del motor.

A més es necessita un equip electrònic per poder fer funcionar el motor com a fre i injectar l'energia elèctrica generada per aquest a la xarxa. Aquest equip suposa un gran sobrecost.

2.0.7. Estudi dels diferents motors de CC del fabricant ABB.

Per aquest fet, s'ha decidit decantar-se per un motor de CC, on la velocitat angular del motor es proporcional a la tensió d'alimentació, i el mateix convertidor de CC, realitza el control de 4 quadrants del motor, amb la qual cosa es pot fer funcionar el motor com a generador, sense tindre un sobrecost pel control de 4 quadrants. L'únic sobrecost d'aquest equip, és que es necessita un filtre EMC, per poder injectar l'energia elèctrica generada pel motor quan està funcionant com a generador.
Per aquest fet, s'ha procedit a l'estudi dels motors de CC i s'ha descartat els motors de CA. En aquest cas només s'ha realitzat l'estudi dels motors de CC del fabricant ABB perquè es un dels pocs fabricants amb una extensa gama.
El fabricant ABB disposa de diferents models de motors de CC, primerament es comença l'estudi pel model DMI 180. En aquest cas es procedeix l'estudi dels motors amb la seva potència nominal màxima, que correspon a la tensió d'alimentació màxima que apareix en el catàleg (815 V CC).

2.0.7.1. Estudi dels motors DMI 180 del fabricant ABB, amb una tensió de 815 V CC.

Per estudiar els diferents motors del model DMI 180 s'ha realitzat un gràfic on apareixen en el seu punt de funcionament nominal màxim , d'aquesta manera es pot observar gràficament els motors que poden ser més atractius pel disseny del banc d'assaig.

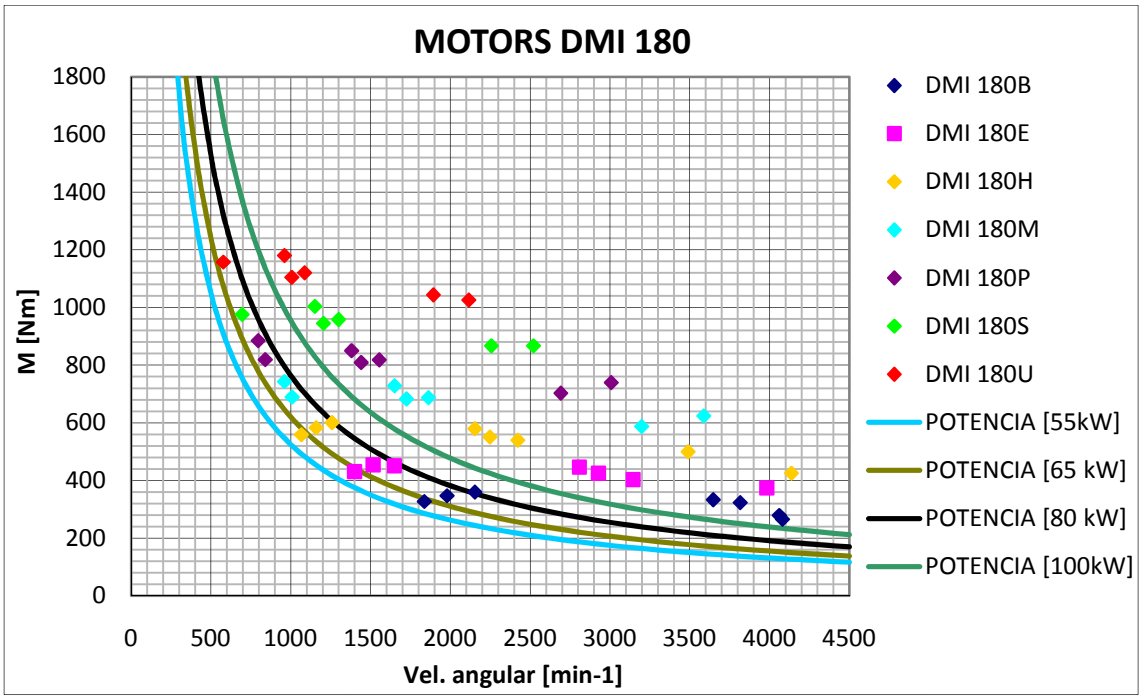


Figura 2.25. Distribució de motors DMI 180 en el seu punt de funcionament màxim.

Com es pot observar en el gràfic tots els motors DMI 180 tenen una potència superior a la demandada. Per la qual cosa, una vegada arribat amb aquest punt s'han de contemplar les diverses vies d'estudi possibles:

- Estudiar motors amb potencies semblants a la plantejada.
- Estudiar motors amb potencies superiors, que permetin realitzar un major abast dels diferents punts de funcionament plantejats.

La primera opció ha realitzar, és la d'estudiar els motors que tenen una potència pròxima a la plantejada.

En aquest cas apareixen encara una gran diversitat de motors, per tant l'estudi es centrarà en els motors més interessants. L'estudi es realitzarà sobre els següents motors:

- Motor DMI 180B (BY)
- Motor DMI 180B (CA)

- Motor DMI 180E (BP)
- Motor DMI 180E (BR)
- Motor DMI 180H (BJ)

Les dades tècniques de cada motor es poden consultar en l'annex 2.3.

Es descarten els motors que tinguin potencies pròximes a la d'estudi però amb velocitats nominals de gir molt lentes (inferiors a 1080 min^{-1}), ja que aquests motors tenen el problema que per assajar la gran quantitat de punts plantejats, necessita diversos multiplicadors i reductors. La qual cosa, provoca un sobrecost important de la instal·lació. S'ha decidit que la velocitat mínima del motor, en els seu punt de funcionament nominal de 1080 min^{-1}, perquè d'aquesta manera amb un reductor que tingui una relació de transmissió i = [2/1], es pot aconseguir la velocitat d'assaig de 540 min^{-1}.

Els motors descartats són:

- Motor DMI 180 H (BH)
- Motor DMI 180 P (AS)
- Motor DMI 180 S (AK)
- Motor DMI 180 U (AC)

Normalment els motors comercials d'aquest tipus, només poden treballar en continu molt per sota del teòric parell d'arrencada a tensió nominal, doncs es té una limitació en el corrent que passa pels debanats del rotor, imposada per la temperatura màxima de treball de l'aïllament entre els cables del debanat.

A les següents figures es mostren les corbes característiques dels diferents motors a estudiar per a diferents tensions d'alimentació, essent la tensió nominal màxima d'aquests motors de 815 VCC, encara que en alguns d'aquests models la tensió nominal és inferior. Amb línia continua es mostra el rang de treball permès en continu. Amb discontinua, es representa part de la zona on únicament es pot operar en intervals curts de temps, aquesta zona no es d'utilitat en la realització d'aquest projecte, ja que el disseny del banc només està pensat per utilitzar-lo en funcionament nominal.

El càlcul de les corbes característiques és indispensable, per poder trobar la zona de treball dels motors. Per realitzar aquests gràfics primerament s'ha tingut que calcular els diversos punts de funcionament extrems, que es mostren a continuació.

Per tal de determinar la corba característica del motor, es considera el funcionament d'aquest a règim estacionari, a velocitat i parell constants. Si M_n i ω_n són constants. Aquesta formula relaciona les condicions de funcionament mecànic amb la tensió d'alimentació.

$$U_n\,[V] = \frac{R}{C_t} \cdot M_n + C_t \cdot \omega_n \quad \text{(Equació 2.1)}$$

On:

U_n = Tensió d'alimentació en els borns del rotor [V]

R = Resistència elèctrica equivalent en borns del rotor, resultat de la resistència dels cables dels debanats, de les escombretes i del contacte entre cables dels debanats, de les escombretes i del contacte entre les escombretes i el col·lector [Ω]

C_t = Paràmetre característic de cada motor que s'anomena constant de parell [$^{Nm}/_{A}$]

M_n= Parell nominal del motor [Nm]

ω_n= Velocitat angular del motor segons la tensió d'alimentació en els borns del rotor [$^{rad}/_{s}$]

A partir de l'equació 2.1 es pot trobar el valor de la constant de parell, de manera que l'equació es transforma de la següent manera.

$$U_n \cdot C_t = \left(\frac{R}{C_t} \cdot M_n\right) \cdot C_t + (C_t \cdot \omega_n) \cdot C_t \quad \rightarrow$$

$$C_t{}^2 \cdot \omega_n - (U_n \cdot C_t) + (R \cdot M_n) = 0 \quad \text{(Equació 2.2)}$$

D'aquesta equació en resulten dos solucions matemàtiques, però com es evident només hi ha una de lògica.

Solucions matemàtiques:

Primera solució

$$C_t\,[^{Nm}/_{A}] = U_n + \sqrt{\frac{U_n{}^2 - 4 \cdot \omega_n \cdot (R \cdot M_n)}{2 \cdot \omega_n}}$$

Segona solució

$$C_t\ [{}^{Nm}/_{A}] = U_n - \sqrt{\frac{{U_n}^2 - 4 \cdot \omega_n \cdot (R \cdot M_n)}{2 \cdot \omega_n}}$$

En aquest cas, només és valida la primera solució matemàtica.

Per obtenir la corba característica del motor per a una tensió d'alimentació determinada s'ha d'aïllar el parell de l'equació 2.2, i s'obté:

$$M_n[Nm] = \frac{C_t}{R} \cdot U_n - \frac{{C_t}^2}{R} \cdot \omega_n \quad \text{(Equació 2.3)}$$

Mantenint constant la tensió d'alimentació, la corba que defineix el parell motor en funció de la velocitat de gir és una recta de pendent negatiu. El parell és màxim quan la velocitat és nul·la, i el seu valor, $M_{max.}$ es determina amb l'equació 2.4.

$$M_{max}[Nm] = \frac{C_t}{R} \cdot U_n \quad \text{(Equació 2.4)}$$

Al augmentar la velocitat de rotació, el parell motor disminueix linealment fins arribar a ser nul. En aquest punt es té la velocitat de rotació en buit del motor ω_o, que es pot calcular amb l'equació 2.5.

$$\omega_o[{}^{rad}/_{s}] = \frac{U_n}{C_t} \quad \text{(Equació 2.5)}$$

Un cop arribat amb aquest punt, es procedeix a la realització de les corbes característiques dels motor per les diferents tensions d'alimentació.

- Motor DMI 180B (BY)

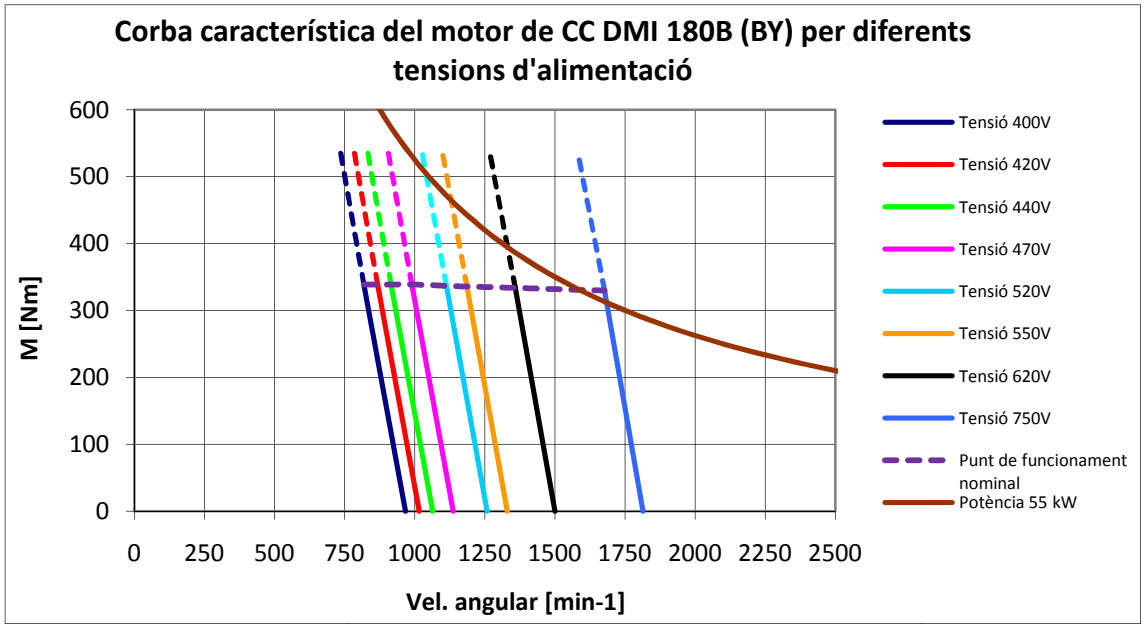


Figura 2.26. Corbes característiques del motor CC DMI 180 (BY).

- Motor DMI 180B (CA)

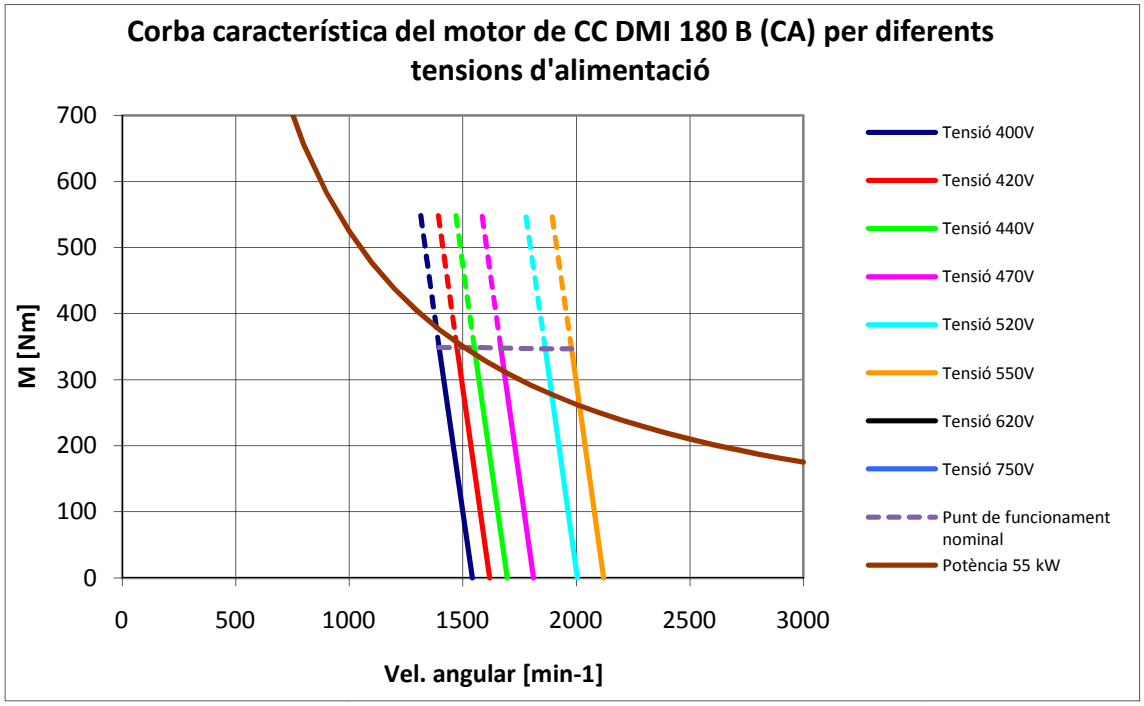


Figura 2.27. Corbes característiques del motor DMI 180 B (CA).

- Motor DMI 180E (BP)

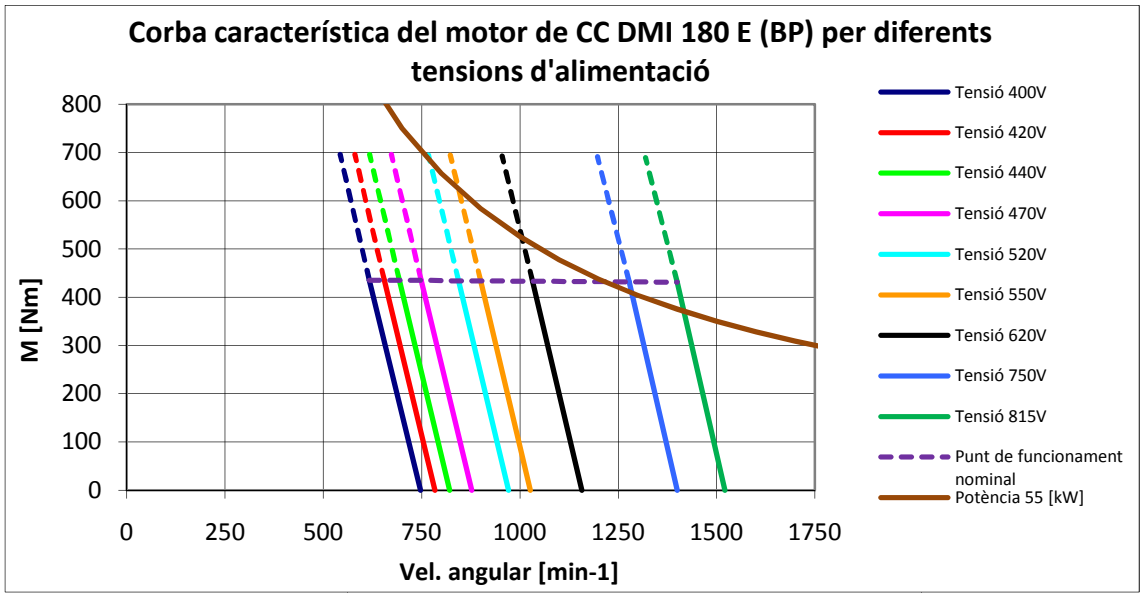


Figura 2.28. Corbes característiques del motor DMI 180 E (BP).

- Motor DMI 180E (BR)

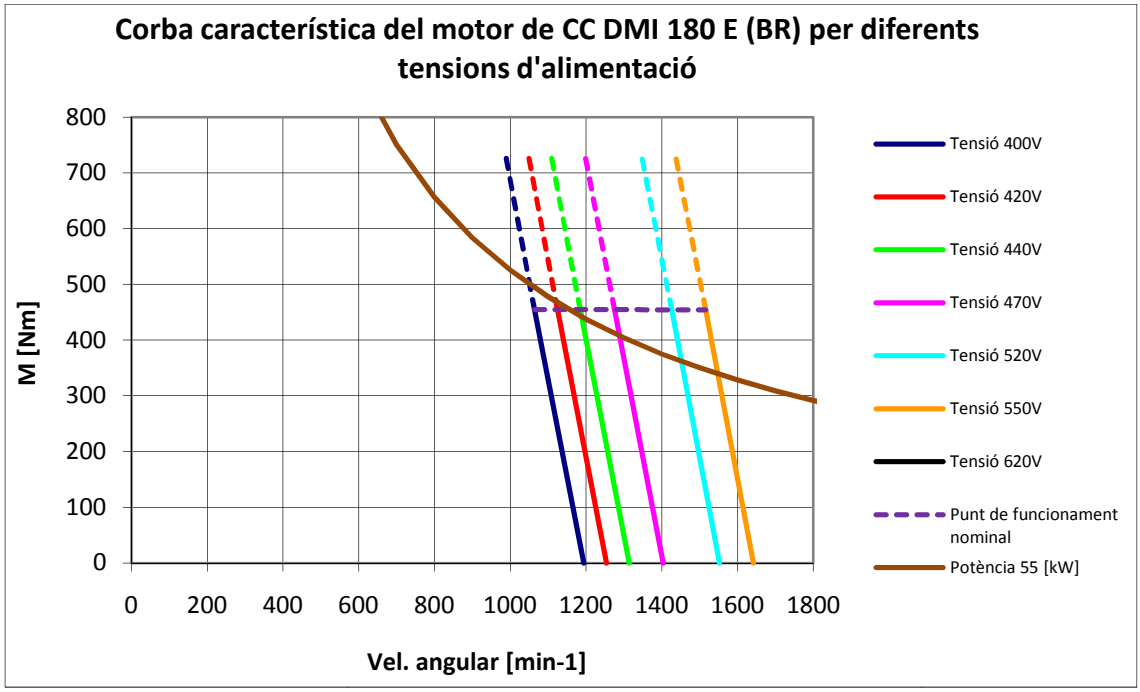


Figura 2.29. Corbes característiques del motor DMI 180 E (BR).

- Motor DMI 180H (BJ)

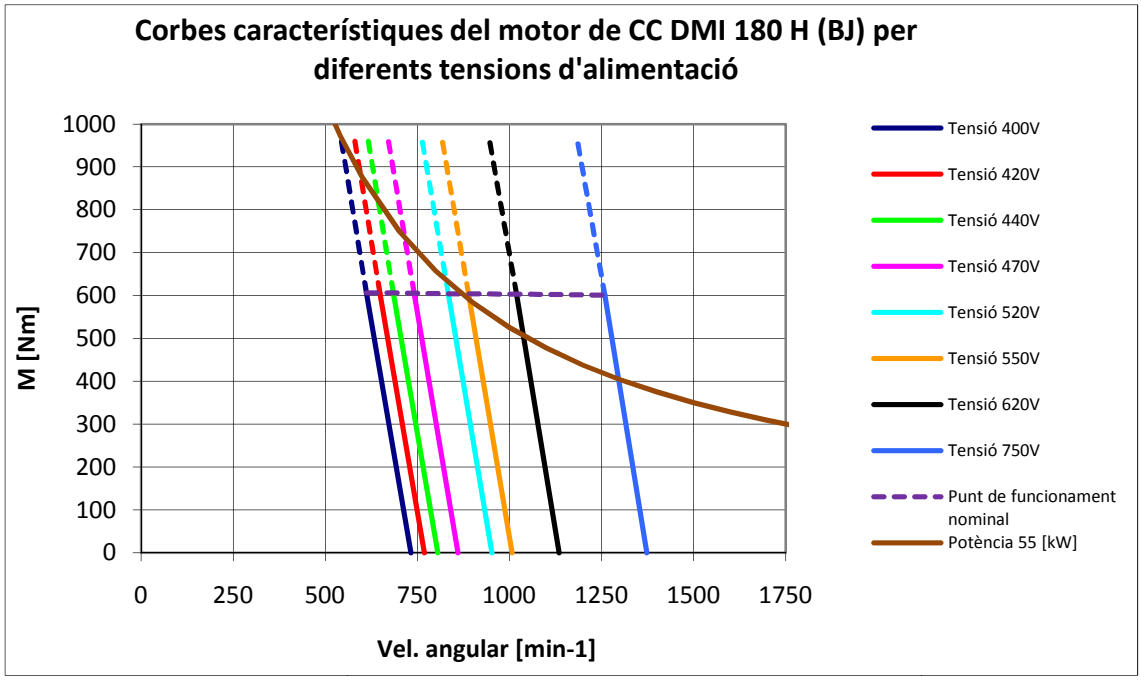


Figura 2.30. Corbes característiques del motor DMI 180 H (BJ).

Aquestes corbes són molt útils per veure les diferents zones de funcionament del motor en els quatre quadrants, ja que aquestes corbes són les que delimiten les diferents parts de funcionament del motor.

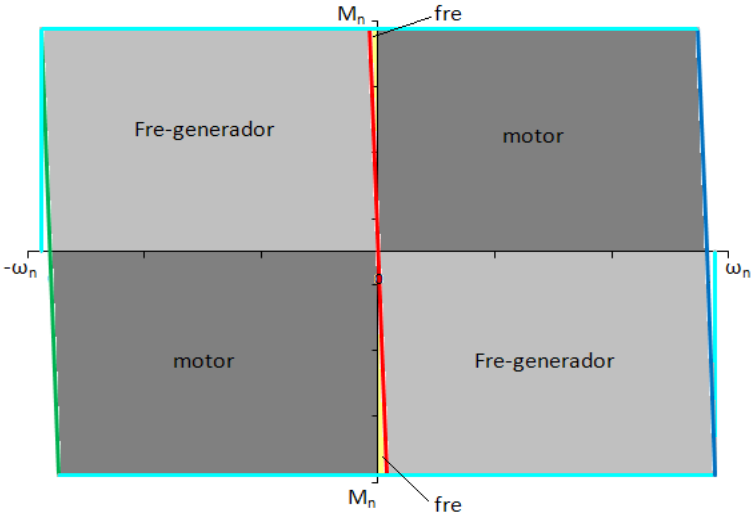


Figura 2.31. Modes de funcionament de la màquina de CC.

En aquest gràfic es mostren els diferents tipus de funcionament del motor ens els quatre quadrants. Com es pot observar en aquest gràfic, el motor té sis modes de funcionament, separats entre ells, per les corbes característiques del motor per diferents tensions d'alimentació. La corba característica blau fort ve determinada per la tensió d'alimentació nominal màxima, la corba característica de color vermell ve determinada per la tensió d'alimentació 0V i per últim la corba característica de color verd ve determinada per la tensió d'alimentació màxima però en valor negatiu.

En aquest punt, cal diferenciar i explicar el funcionament del motor en els diferents modes.

Quan el punt de treball definit per ω i M es troba en el primer quadrant, la màquina proporciona potència mecànica a partir de potència elèctrica subministrada, per tant funciona com a motor.

Quan el punt de funcionament es troba en el segon quadrant, per a ω negatives i M positius, es poden trobar dos modes de funcionament.

Un mode quan el motor necessita potència mecànica per poder girar. En aquest cas la màquina te un corrent d'alimentació negatiu (proporcional al parell exercit), indicant que la màquina està treballant com un generador, subministrant potència mecànica i proporcionant potència elèctrica.

L'altre mode de funcionament del segon quadrant, es quan la màquina està treballant com a fre, és a dir, quan aquest necessita potència mecànica per poder girar i quan la tensió d'alimentació es positiva. En aquest cas, la màquina està dissipant potència mecànica i alhora potència elèctrica. Aquest mode de funcionament cal evitar-lo, ja que provoca un gran escalfament de la màquina.

Quan el punt de funcionament està en el tercer quadrant, per a ω negatives i M negatius, la màquina funciona com a motor. Simètric però de sentit contrari al mode de funcionament del primer quadrant.

Quan el punt de funcionament està en el quart quadrant, per a ω positives i M negatius, els modes de funcionament són simètrics als dels segon quadrant però en sentit contrari.

L'estudi d'aquests motors es realitzarà mitjançant gràfics on es pot observar el funcionament del motor amb parell nominal i el funcionament del motor amb 2 reductors diferents. A continuació es presenta un gràfic explicatiu:

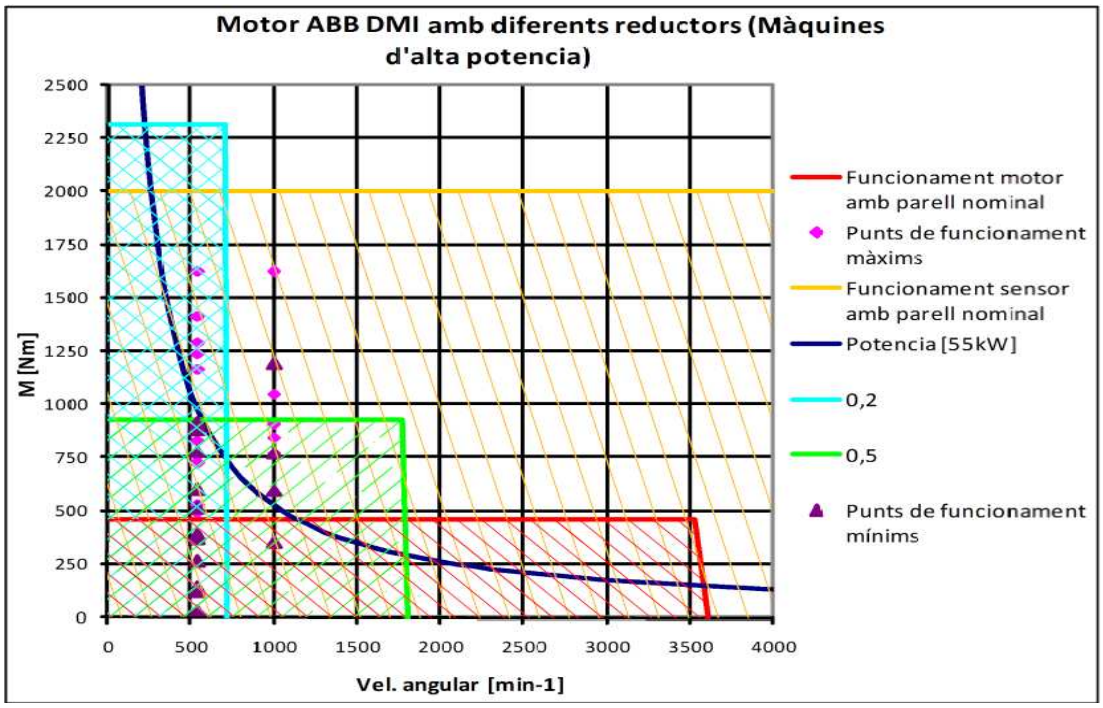


Figura 2.32. Explicació zones de funcionament motors amb reductors.

La franja de color vermell es la zona de funcionament del motor amb parell nominal

- La franja de color blau fluix es la zona de funcionament del motor amb un reductor, en aquest cas i=[5/1]
- La franja de color verd fluix es la zona de funcionament del motor amb un reductor, en aquest cas i=[2/1]
- La franja de color taronja es la zona de funcionament del sensor de parell tipus flat amb parell nominal
- La corba de color blau fort es la corba de potència que correspon a 55 kW
- Els punts de color rosa i lila són els punts de funcionament màxims i mínims de diferents màquines agrícoles.

Les màquines que estiguin per sobre de la corba de potència de 55 kW, són màquines que no es podran assajar en el banc de proves. S'ha realitzat una taula resum on es pot observar la classificació de les diferents màquines estudiades en aquest projecte, segons si es poden assajar en el banc, si es més útil estudiar-les en proves de camp, o si no es poden assajar.

Tipus de màquines a assajar	**Màquines a assajar**
Màquines de baixa potència	- Abonadores - Atomitzadors - Bombes d'aigua - Compressors de poda - Espolvoritzadors - Inoculador de llaors - Nebulitzadors - Rastrells filedadors suspesos

Taula 2.8. Classificació de les màquines segons si es poden assajar en el banc, en proves de camp o si no es poden assajar (part 1)

Tipus de màquines a assajar	Màquines a assajar
Màquines d'alta potència que es poden assajar en el banc d'assaig	- Biotrituradores - Depressors de les cubes de purí - Molins de gra - Diversos models de bombes hidràuliques - Diversos models de motors hidràulics - Algun model de tractor
Màquines d'alta potència, on l'assaig es realitza en proves de camp	- Empacadores gegants - Fresadores - Grades giratòries rígides - Grades giratòries flexibles - Mescladores - Molins de gra - Rastrells fileradors semisuspesos - Rotoempacadores amb cambra de premsat variable - Rotoempacadores amb cambra de premsat fixa. - Segadores de plec vertical - Segadores acondicionadores arrastrades - Segadores acondicionadores triples - Trituradores de vinyers i fruitals - Trituradores de residus de cultiu
Màquines d'alta potència, on l'assaig no es pot realitzar	- Alguns models de bombes hidràuliques - Alguns models de motors hidràulics - Diversos models de tractors

Taula 2.8. Classificació de les màquines segons si es poden assajar en el banc, en proves de camp o si no es poden assajar (part 2)

Estudi dels motors amb diferents reductors:

- Motor DMI 180B (BY)

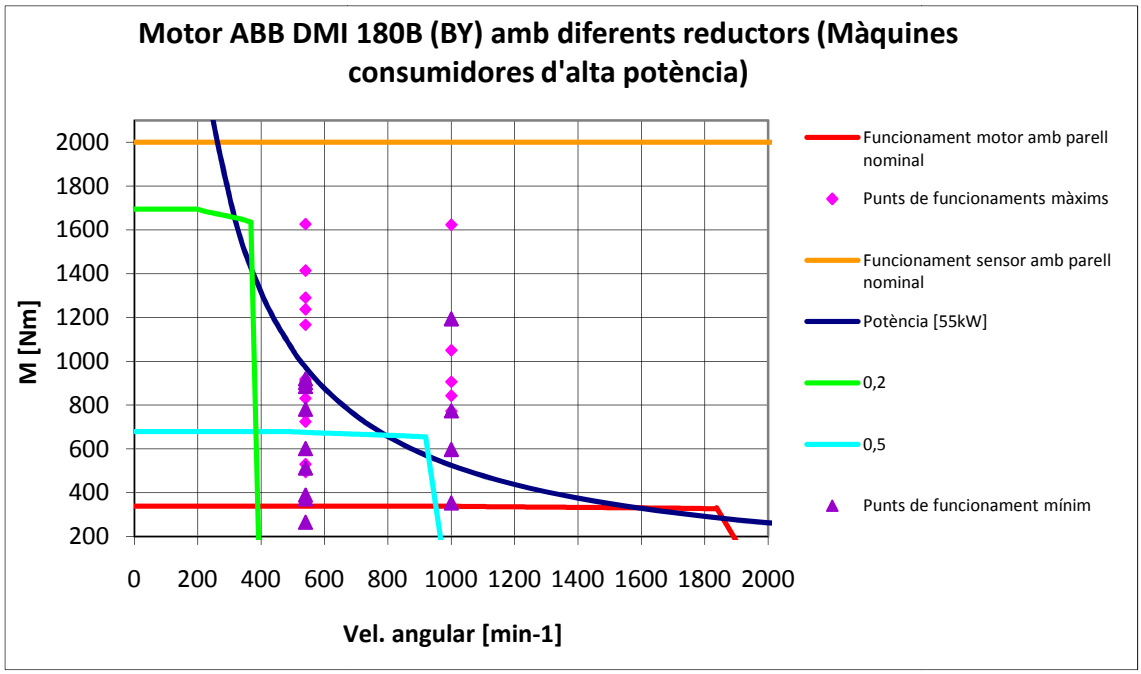


Figura 2.33. Zona de funcionament del motor DMI 180B (BY).

- Motor DMI 180B (CA)

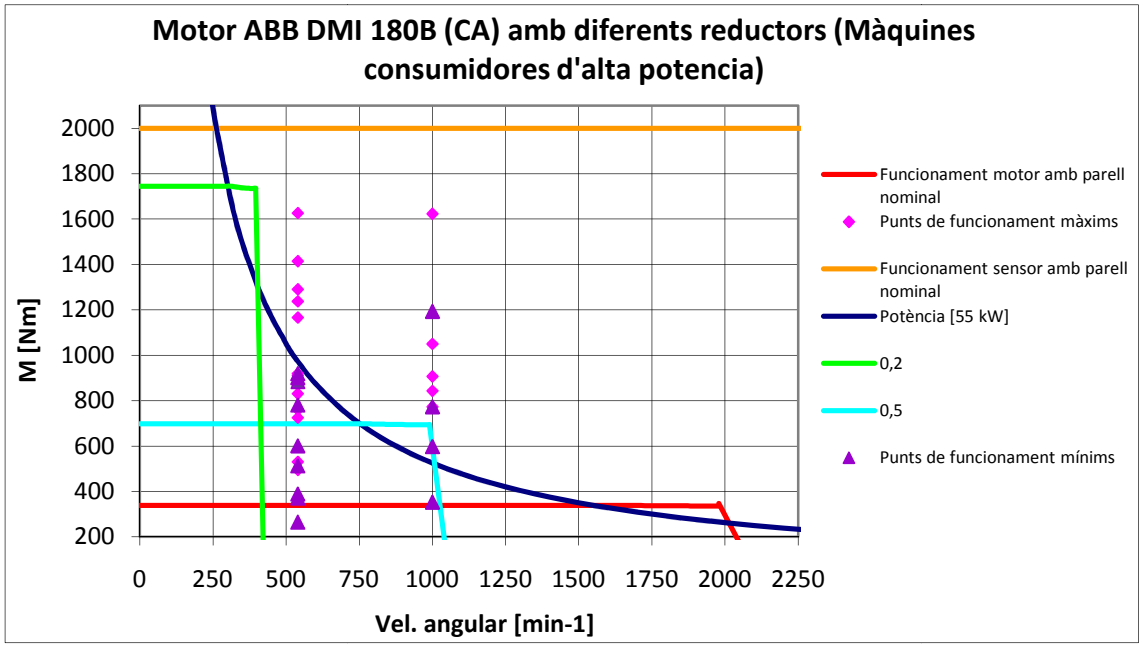


Figura 2.34. Zona de funcionament del motor DMI 180B (CA).

- Motor DMI 180E (BP)

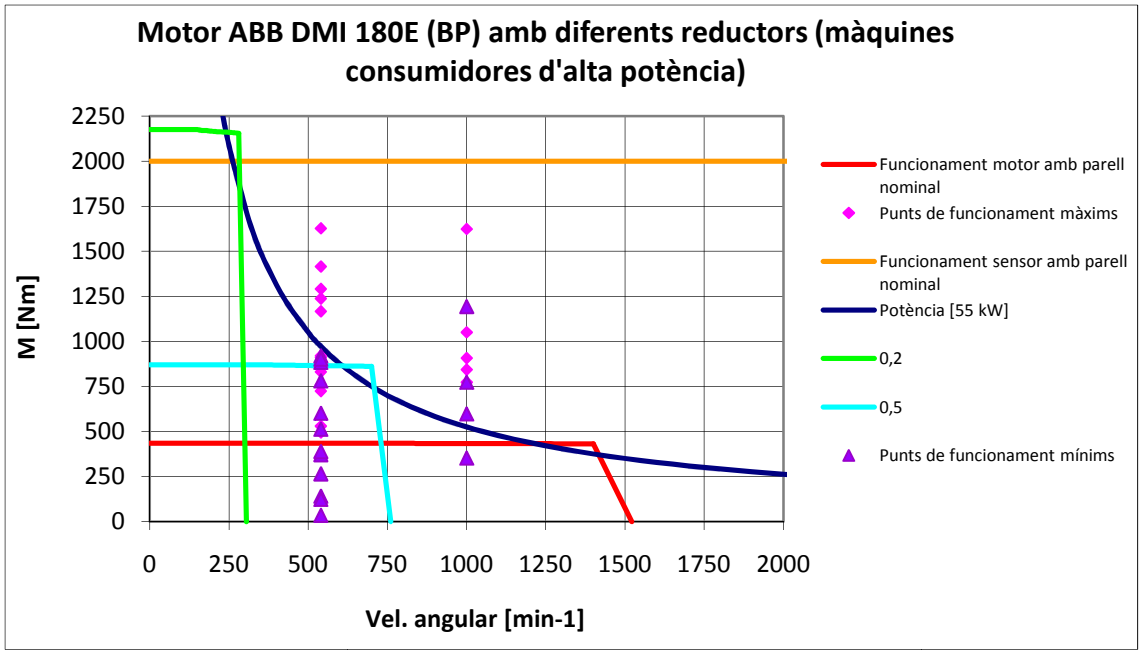


Figura 2.35. Zona de funcionament del motor DMI 180E (BP).

- Motor DMI 180E (BR)

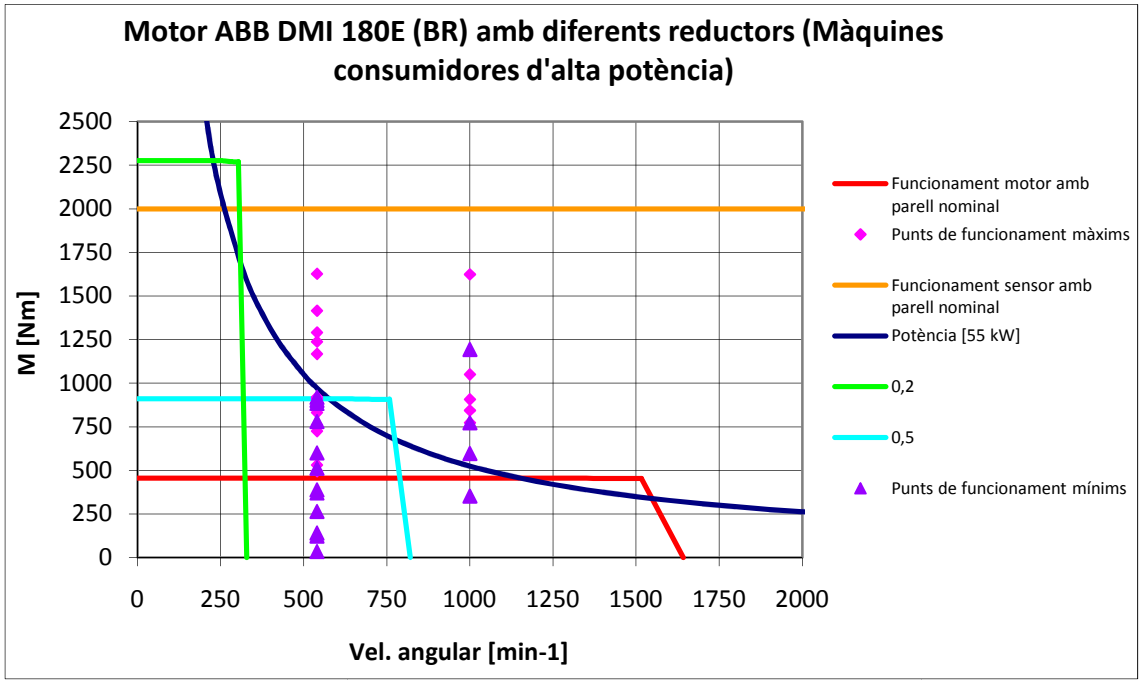


Figura 2.36. Zona de funcionament del motor DMI 180E (BR).

- Motor DMI 180H (BJ)

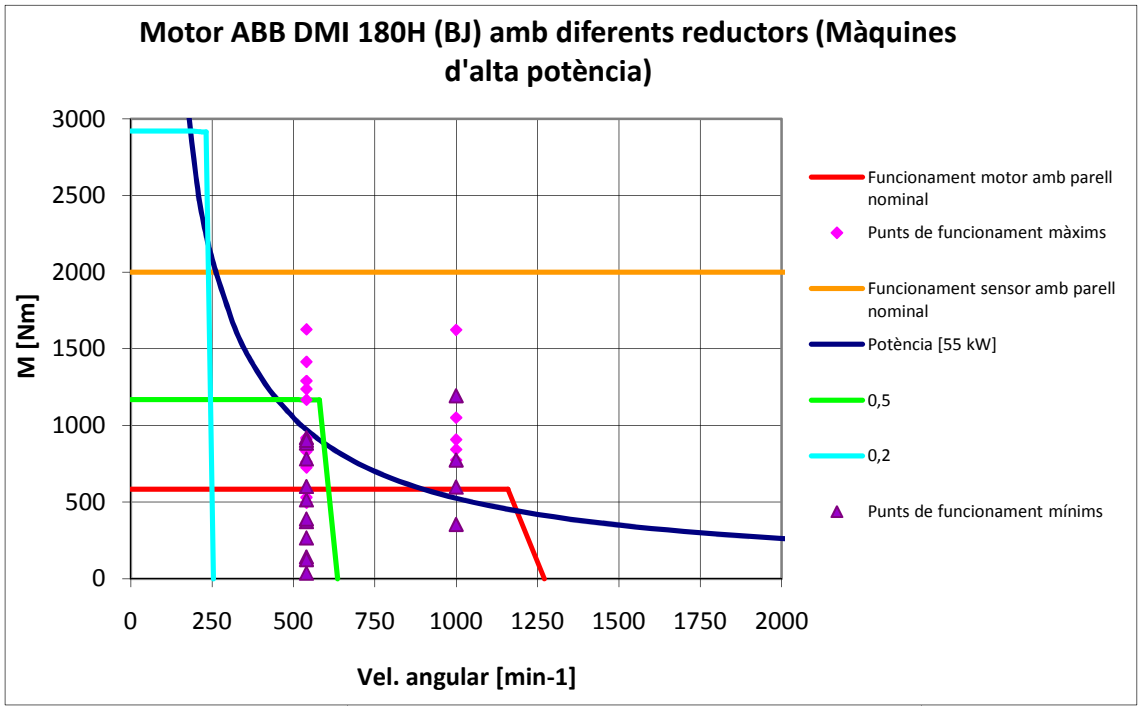


Figura 2.37. Zona de funcionament del motor DMI 180H (BJ).

Com s'ha pogut observar en aquest estudi, aquests motors no compleixen els requisits plantejats, excepte el motor DMI 180 H (BJ). Aquest motor, compleix amb els punts d'assaig plantejats, (assaig a 540 min^{-1}, assaig a 1000 min^{-1}, assaig de parell de 2000 Nm i per l'assaig de motors lents s'ha d'instal·lar un reductor amb una relació de transmissió [2:1], que aniria acoblat al motor a assajar). Però s'ha d'instal·lar 2 reductors, fet que encareix molt el projecte i complica la simplicitat del disseny, ja que per cada tipus d'assaig s'ha d'intercanviar entre els diversos reductors. La solució a la que s'ha arribat no es la desitjada, per tant una vegada realitzat aquest estudi s'ha procedit a l'estudi dels motors amb una potència elevada que permeten adaptar-se millor als punts de funcionament plantejats.

En aquest cas també hi ha una gran varietat de motors, per la qual cosa s'han escollit els més interessants per aquest projecte. Els mes interessants, de cara al projecte són motors ràpids, amb un parell superior o igual a 525 Nm (Es el parell que es necessita per generar una potència mecànica de 55 kW a 1000 min^{-1}), així es redueix el

nombre de reductors que es necessita per assajar tots els punts plantejats, i com a conseqüència, es redueix el temps de preparació dels assaigs.

Motors a estudiar:

- Motor ABB DMI 180 H (BN)
- Motor ABB DMI 180 M (BF)
- Motor ABB DMI 180 M (BG)
- Motor ABB DMI 180 P (AX)

Estudi de les corbes característiques d'aquests motors

- Motor ABB DMI 180 H (BN)

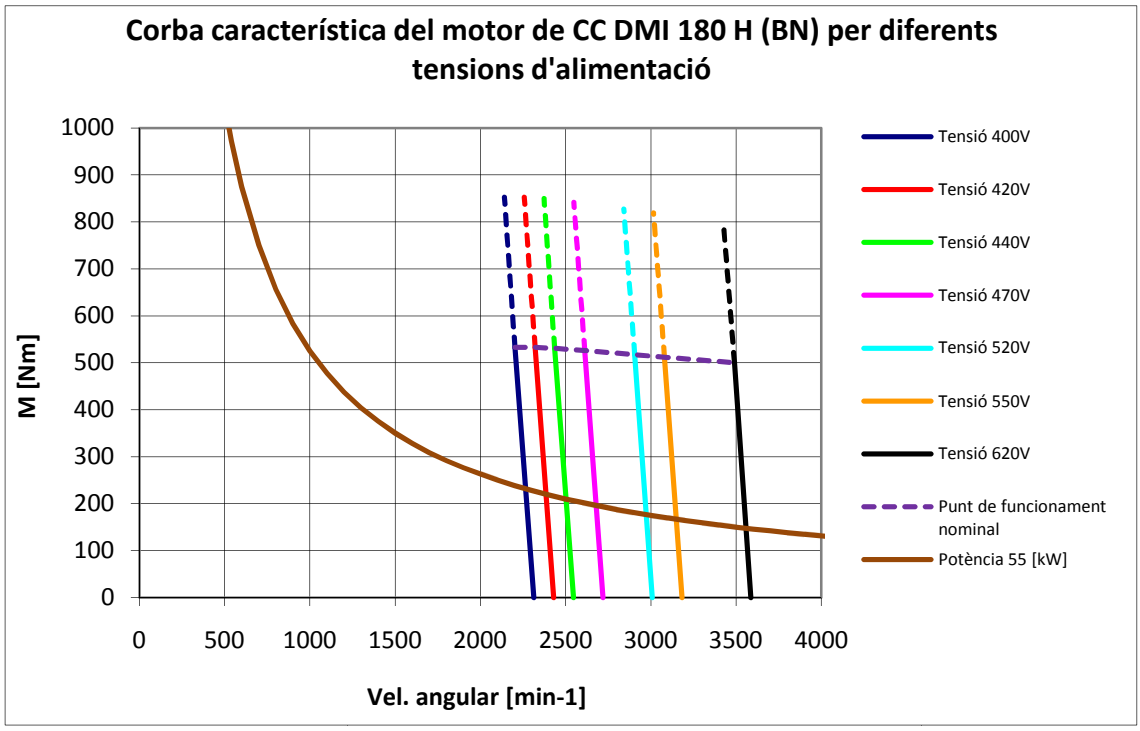


Figura 2.38. Corbes característiques del motor DMI 180H (BN).

- Motor ABB DMI 180 M (BF)

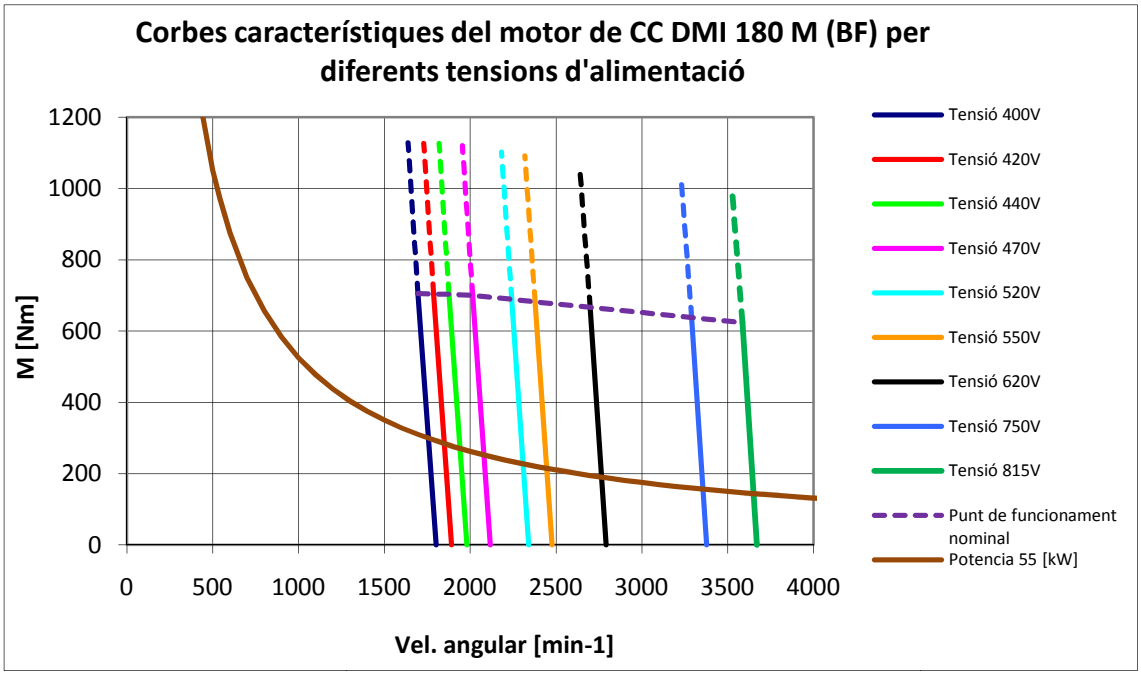


Figura 2.39. Corbes característiques del motor DMI 180M (BF).

- Motor ABB DMI 180 M (BG)

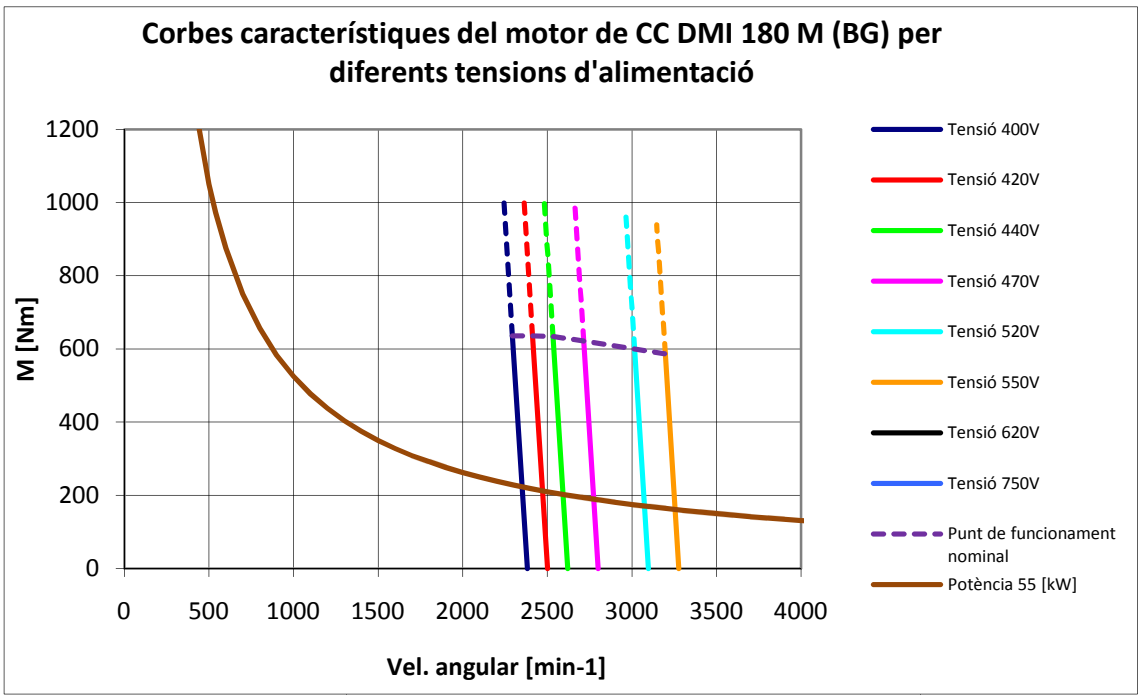


Figura 2.40. Corbes característiques del motor DMI 180M (BG).

- Motor ABB DMI 180 P (AX)

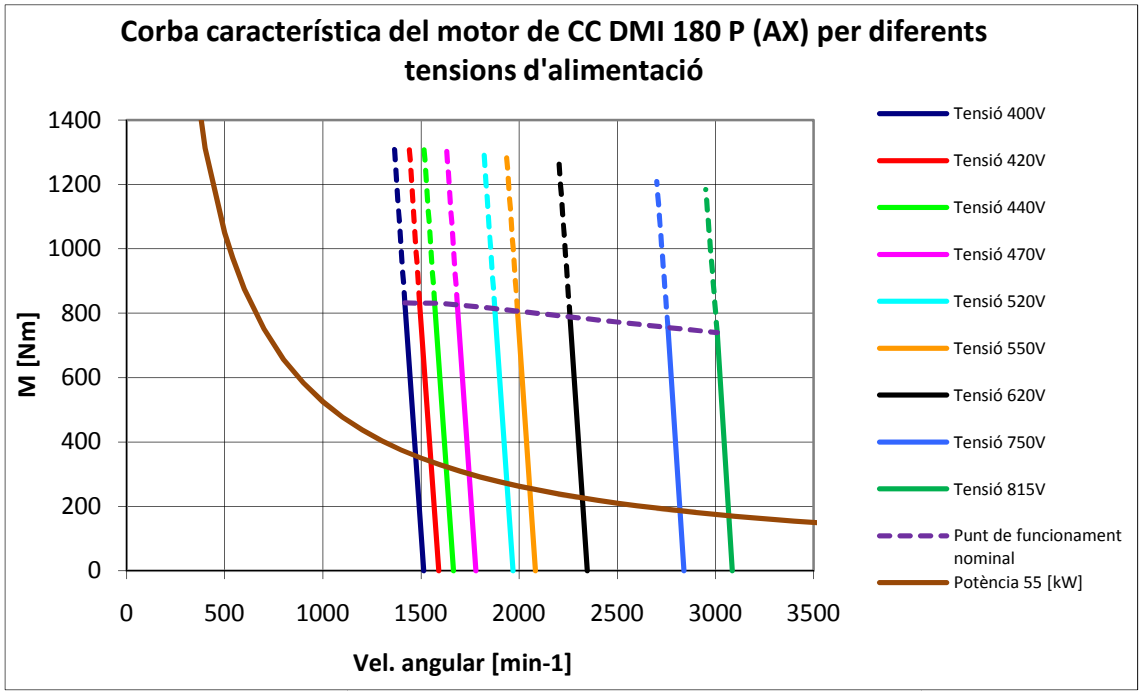


Figura 2.41. Corbes característiques del motor DMI 180P (AX).

Estudi de les zones de funcionament del motor amb els diferents reductors.

- Motor ABB DMI 180 H (BN)

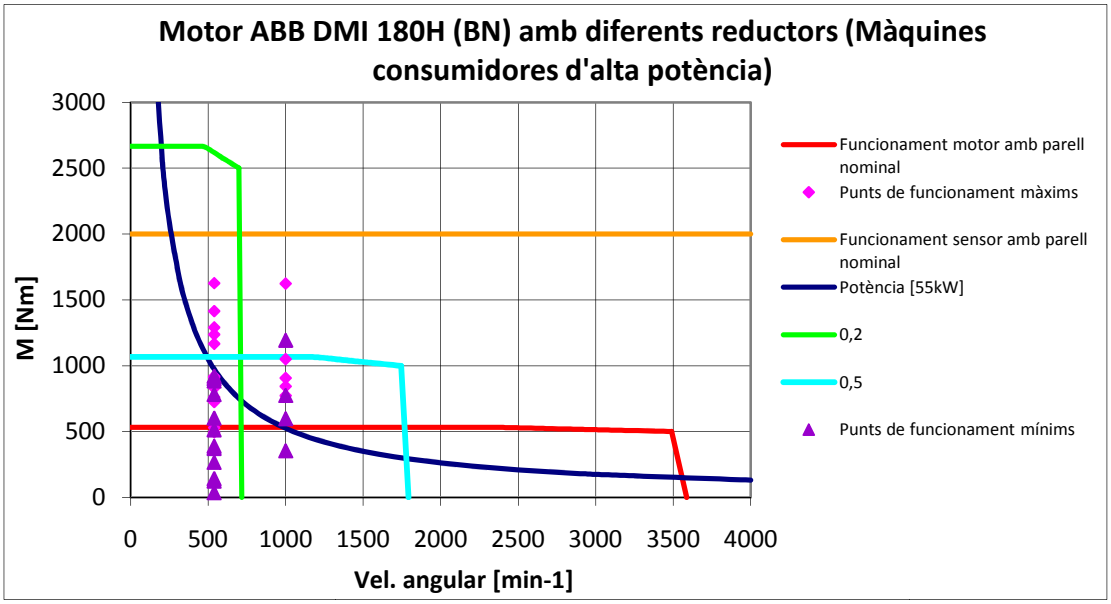


Figura 2.42. Corbes característiques del motor DMI 180H (BN).

- Motor ABB DMI 180 M (BF)

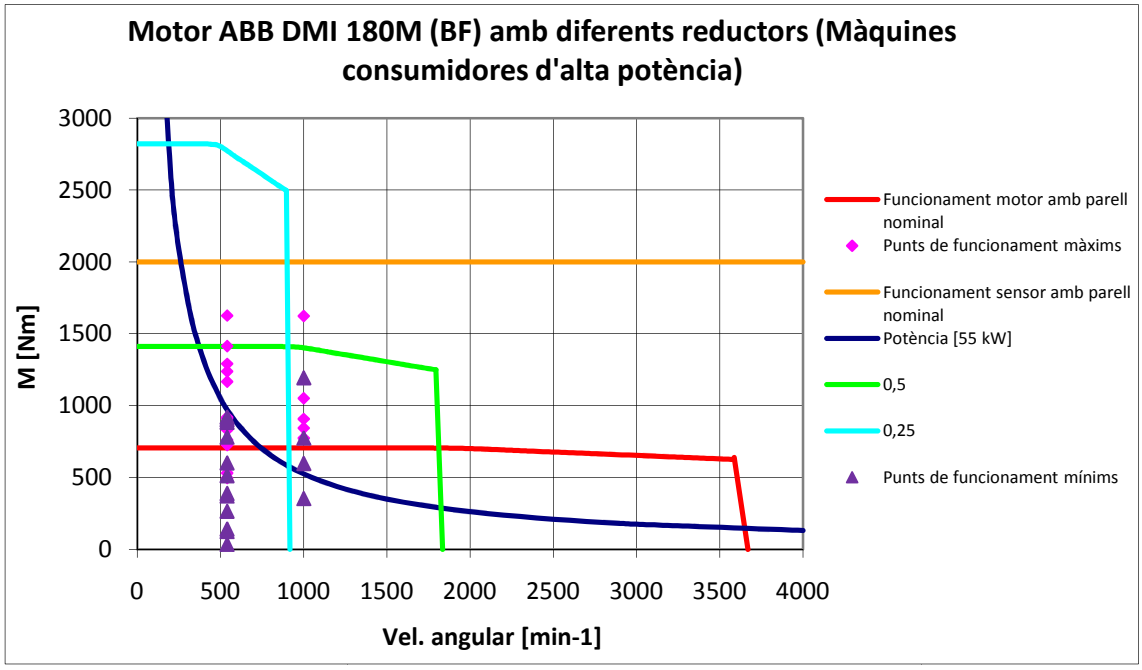


Figura 2.43. Corbes característiques del motor DMI 180M (BF).

- Motor ABB DMI 180 M (BG)

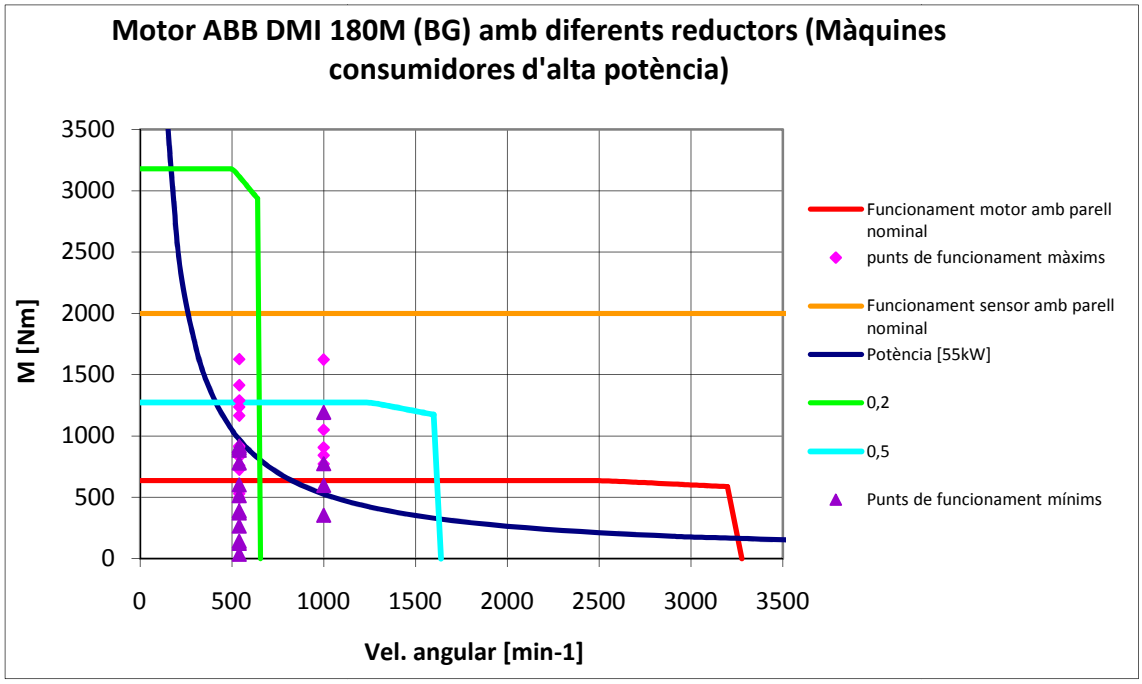


Figura 2.44. Corbes característiques del motor DMI 180H (BN).

- Motor ABB DMI 180 P (AX)

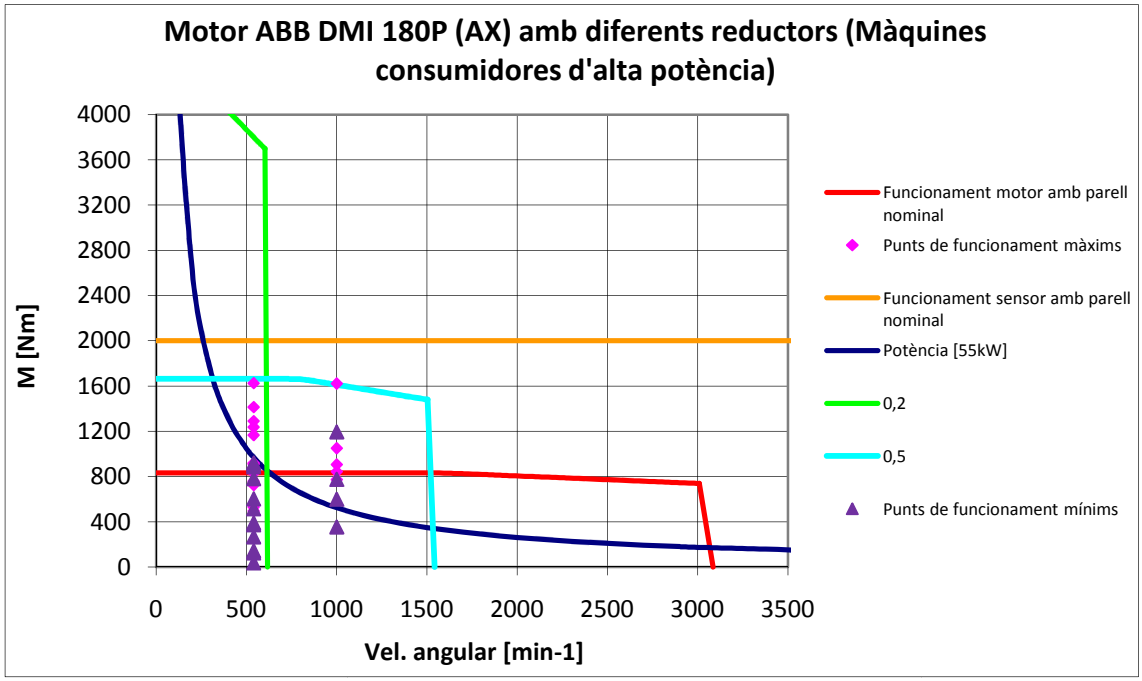


Figura 2.45. Corbes característiques del motor DMI 180P (AX).

Una vegada realitzats aquests dos estudis, s'observa que els motors amb una potència elevada tenen unes característiques tècniques superiors, a la resta de motors. Per altra banda es té que realitzar un estudi, dels equips de control de quatre quadrants dels motors més atractius del estudi anterior i realitzar una comparació, per determinar quin motor es més adequat per la instal·lació que s'ha de realitzar.

En l'estudi dels equips de control i rectificació de CC adequats pels diferents motors interessants pel projecte, s'ha observat que el sistema de control de quatre quadrants té restriccions que fan referència a la rectificació de l'alimentació. Per entendre aquest concepte s'ha realitzat un gràfic, on apareix la distribució de les ones del corrent trifàsic i a continuació en un altre gràfic apareix la distribució de les ones del corrent trifàsic amb valor absolut i la seva posterior rectificació de les mateixes, que correspon al valor màxim d'alimentació en corrent continu.

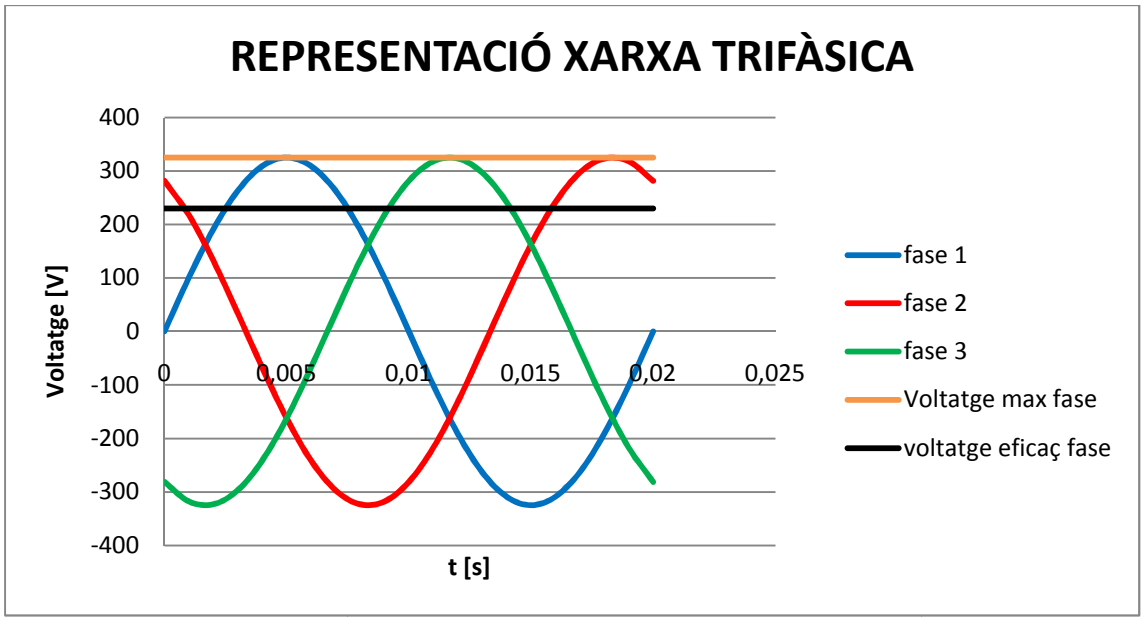


Figura 2.46. Representació de les ones de la xarxa trifàsica (connexió estrella).

Aquesta és la representació de les ones d'una xarxa trifàsica amb una connexió en estrella, on la diferencia de voltatge es produeix des d'una fase al neutre.

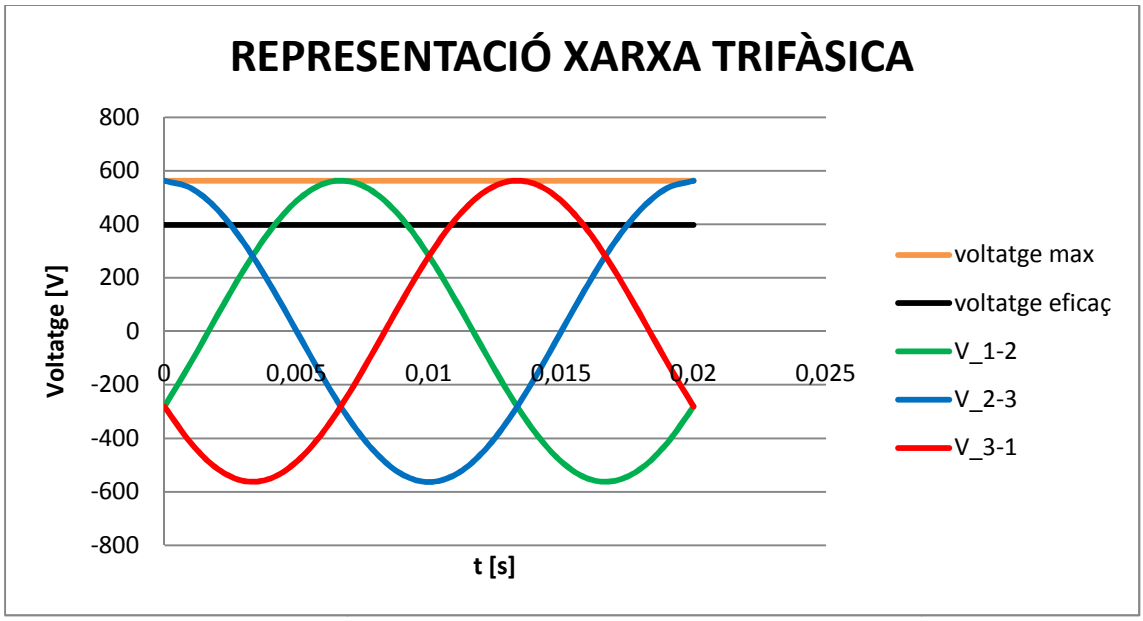


Figura 2.47. Representació de les ones de la xarxa trifàsica (connexió en triangle).

Aquesta és la representació de les ones d'una xarxa trifàsica amb connexió en triangle on la diferencia de potencial es realitza des d'una fase a una altra fase.

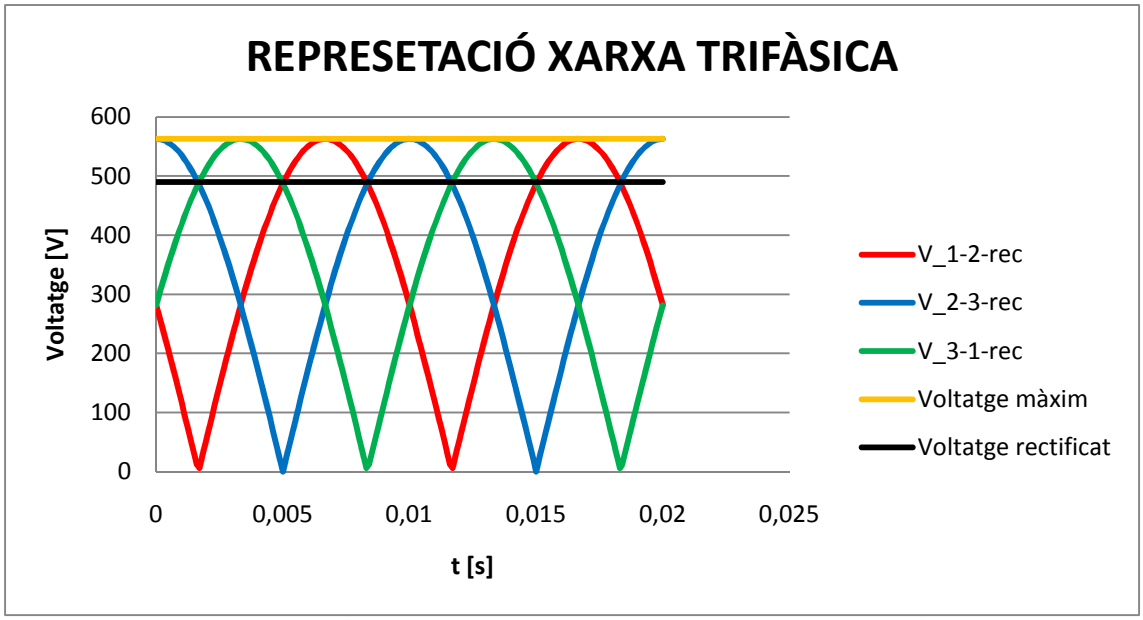


Figura 2.48. Representació de les ones de la xarxa trifàsica rectificades (connexió en triangle).

En aquesta gràfica es pot observar la representació de les ones de la xarxa trifàsica amb connexió en triangle rectificades, per realitzar la posterior conversió a corrent continua i poder observar quin es el valor màxim al qual es pot arribar alhora de realitzar la rectificació de corrent trifàsic a corrent continu, en aquesta gràfica es pot observar amb la línia de voltatge eficaç, sense tindre en compte les pèrdues que hi poden haver.

Segons una taula que aporta el fabricant en el catàleg del control del motor, aquest només pot entregar 420 V CC (control de quatre quadrants) amb una alimentació de 400 V CA trifàsica. Com es pot observar a continuació.

System connection voltage U_{vN}	DC voltage (max. Motor voltage) U_d 2Q ①	4Q
230	270	240
380	460	400
400	470	420
415	490	430
440	520	460
460	540	480
480	570	500
500	600	520

Taula 2.9. Conversió de tensió alterna a continua, segons el tipus de control del motor.

També el fabricant facilita l'equació per realitzar el càlcul.

$$U_d = (U_{vn} - 10\%) * 1.35 * \cos\alpha \qquad \text{(Equació 2.6)}$$

$\cos\alpha = 0.966$ per control en 2 quadrants

$\cos\alpha = 0.866$ per control en 4 quadrants

Per tant el resultat d'aquesta operació és:

$$U_d = (400 - 10\%) * 1.35 * 0.866 = 420.876 \text{ V CC}$$

La tensió màxima d'alimentació del motor es de 420 V CC per tant es té que tornar a realitzar els estudis anteriors amb la tensió d'alimentació correcta.

En aquest estudi es contemplen un ventall de motors més ampli que l'anterior per reduir-se les característiques tècniques dels motors considerablement, concretament la velocitat màxima nominal de funcionament i per conseqüència també es redueix la potència del motor. Per aquest motiu es realitza l'estudi dels següents motors DMI 180, DMI 200, DMI 225.

Per això en aquest cas es torna a realitzar els diferents gràfics on s'observen els punts de funcionament dels motors amb una tensió d'alimentació de 420 V CC.

2.0.7.2. Estudi dels motors de CC DMI 180,200 i 225 del fabricant ABB, amb una tensió d'alimentació.

Motors ABB DMI 180

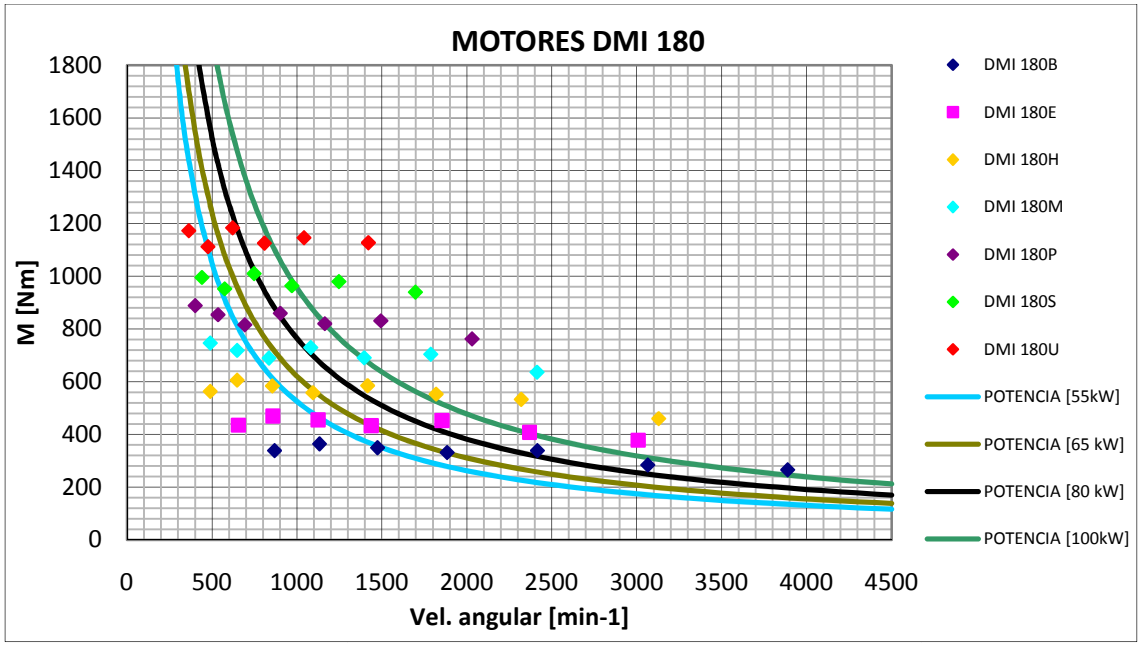


Figura 2.49. Distribució dels motors DMI 180 en el seu punt de funcionament nominal, per una tensió de 420 V CC.

Motors ABB DMI 200

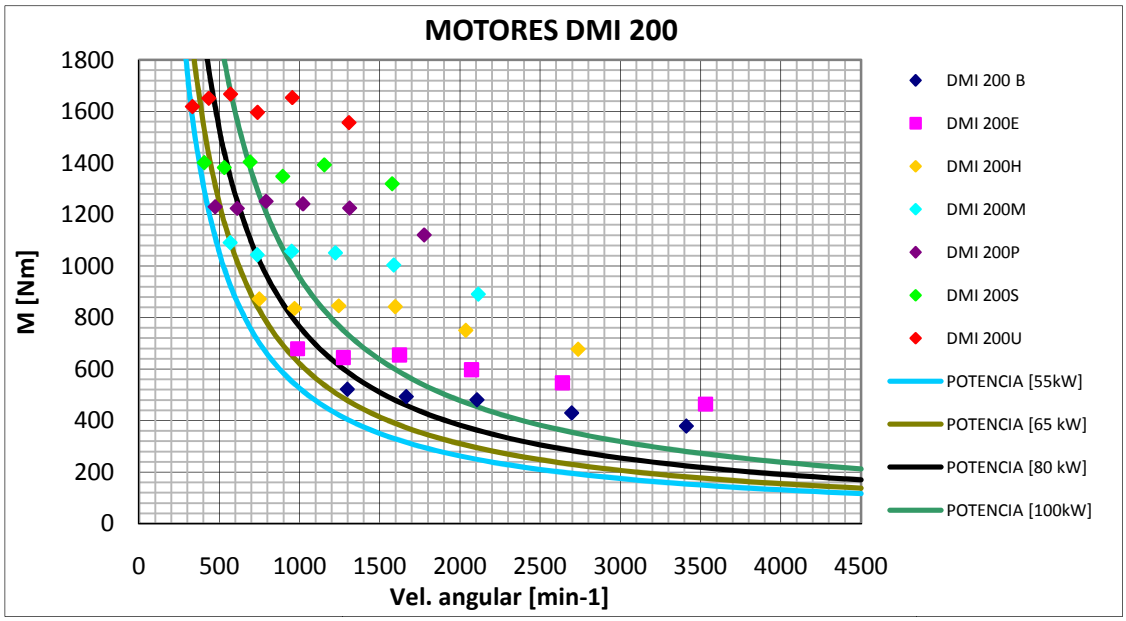


Figura 2.50. Distribució dels motors DMI 200 en el seu punt de funcionament nominal, per una tensió de 420 V CC.

Motors ABB DMI 225

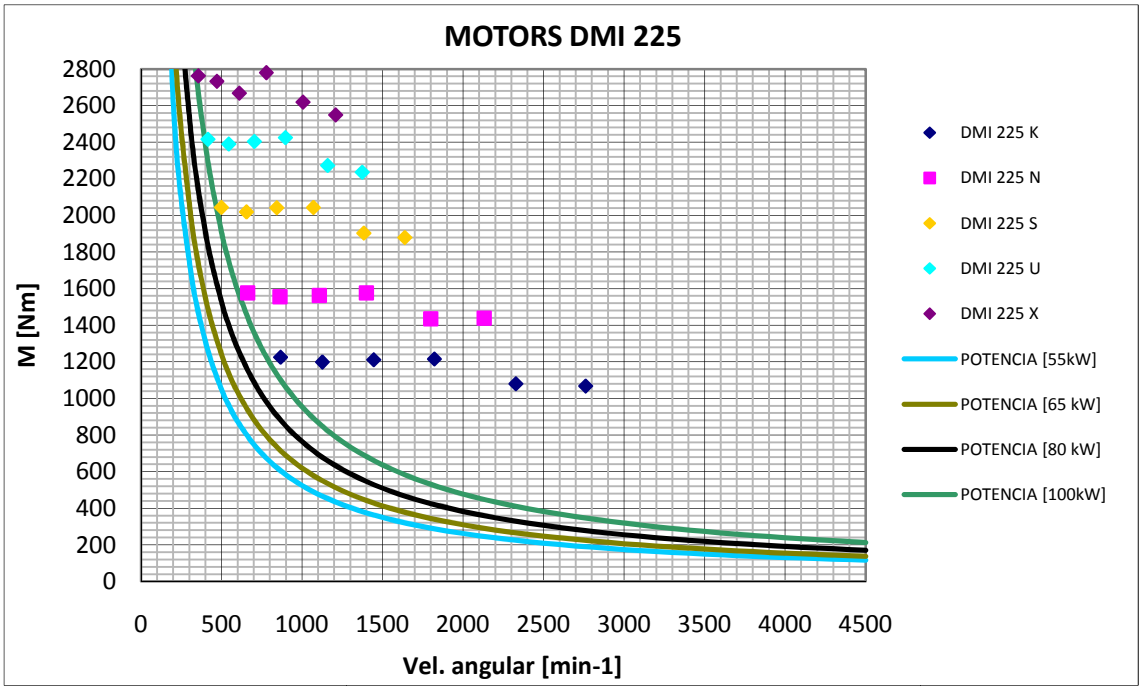


Figura 2.51. Distribució dels motors DMI 225 en el seu punt de funcionament nominal, per una tensió de 420 V CC.

A partir d'aquestes gràfiques, s'elegeixen els motors més interessants pel disseny que es vol realitzar. Els motors a estudiar són motors ràpids, concretament els següents models:

- Motor DMI 180 E (BV)
- Motor DMI 180 H (BO)
- Motor DMI 200 B (EK)
- Motor DMI 200 E (ED)
- Motor DMI 200 H (DU)
- Motor DMI 225 K (FQ)

Una vegada escollits els motors més interessants, es torna a repetir sencer el procés anterior però amb les dades concretes referents a la instal·lació de la xarxa elèctrica, és a dir, observant les dades del motor amb una tensió d'alimentació de 420 V CC.

S'ha de realitzar un estudi de les corbes característiques dels motors.

- Motor DMI 180 E (BV)

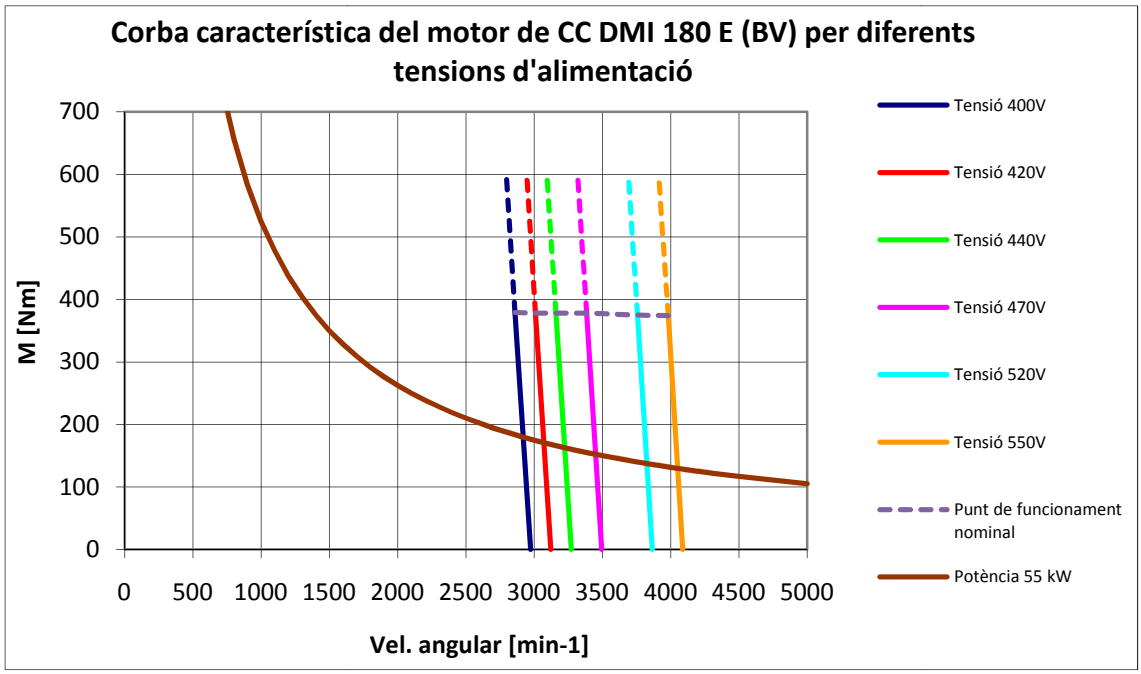


Figura 2.52. Corbes característiques del motor DMI 180E (BV).

- Motor DMI 180 H (BO)

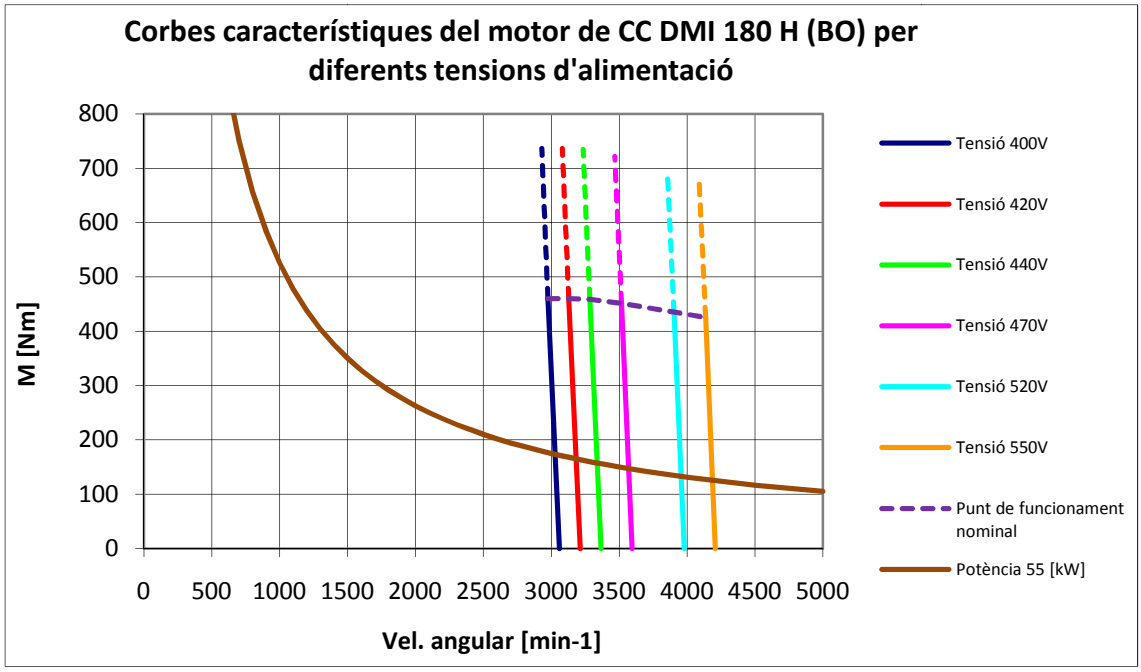


Figura 2.53. Corbes característiques del motor DMI 180H (BO).

- Motor DMI 200 B (EK)

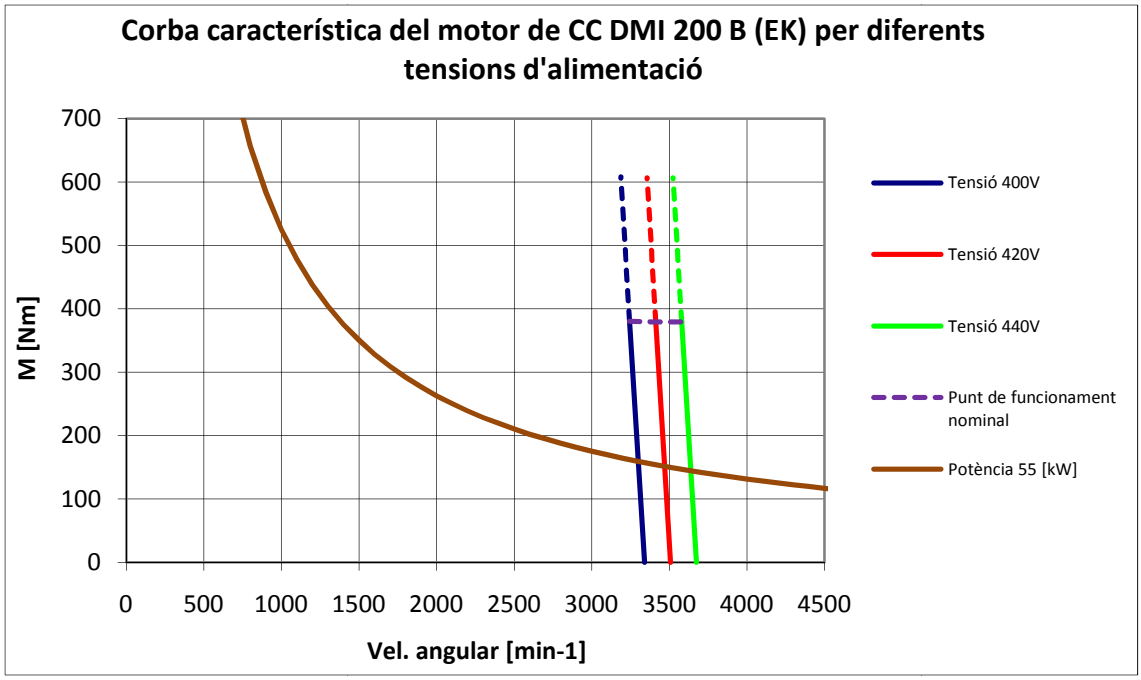


Figura 2.54. Corbes característiques del motor DMI 200B (EK).

- Motor DMI 200 E (ED)

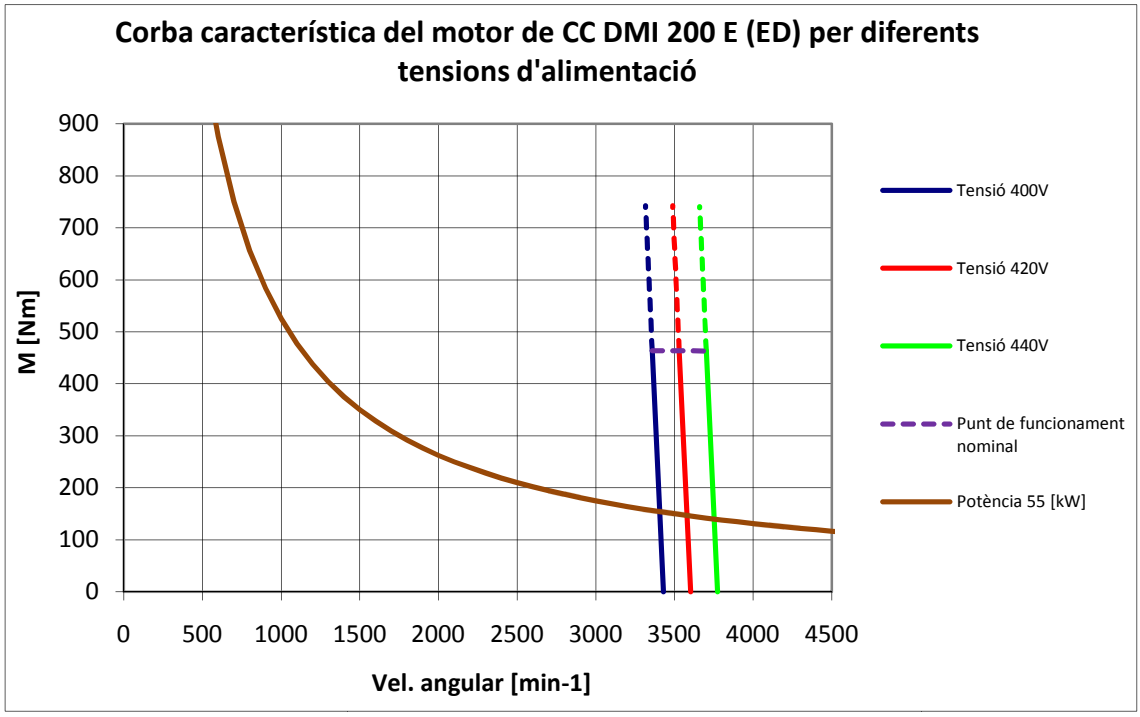


Figura 2.55. Corbes característiques del motor DMI 200E (ED).

- Motor DMI 200 H (DU)

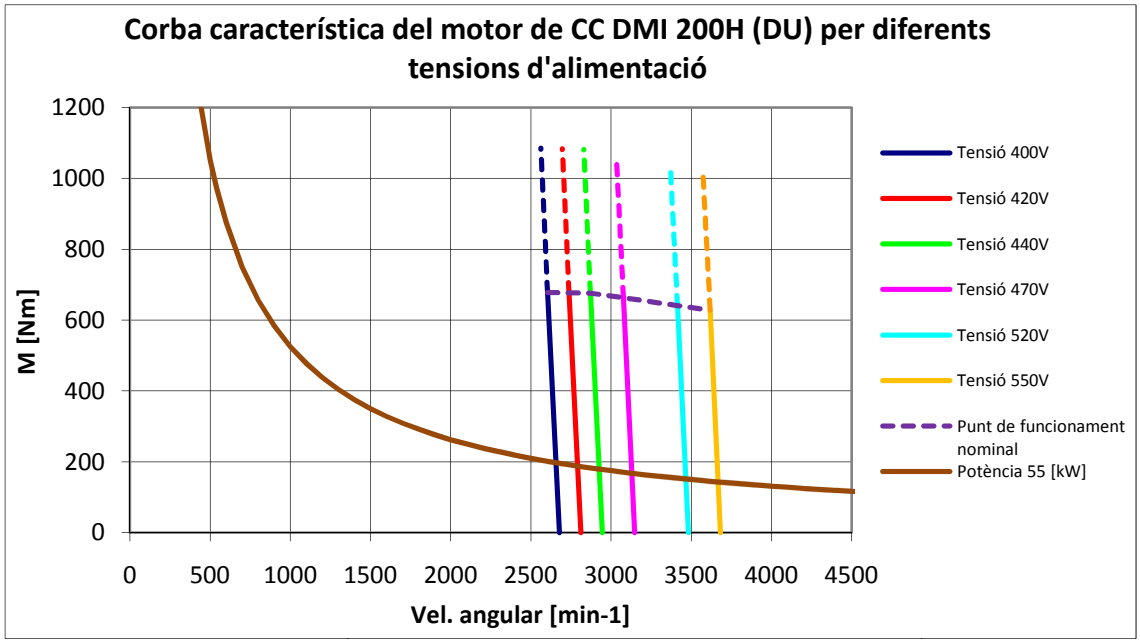


Figura 2.56. Corbes característiques del motor DMI 200H (DU).

- Motor DMI 225 K (FQ)

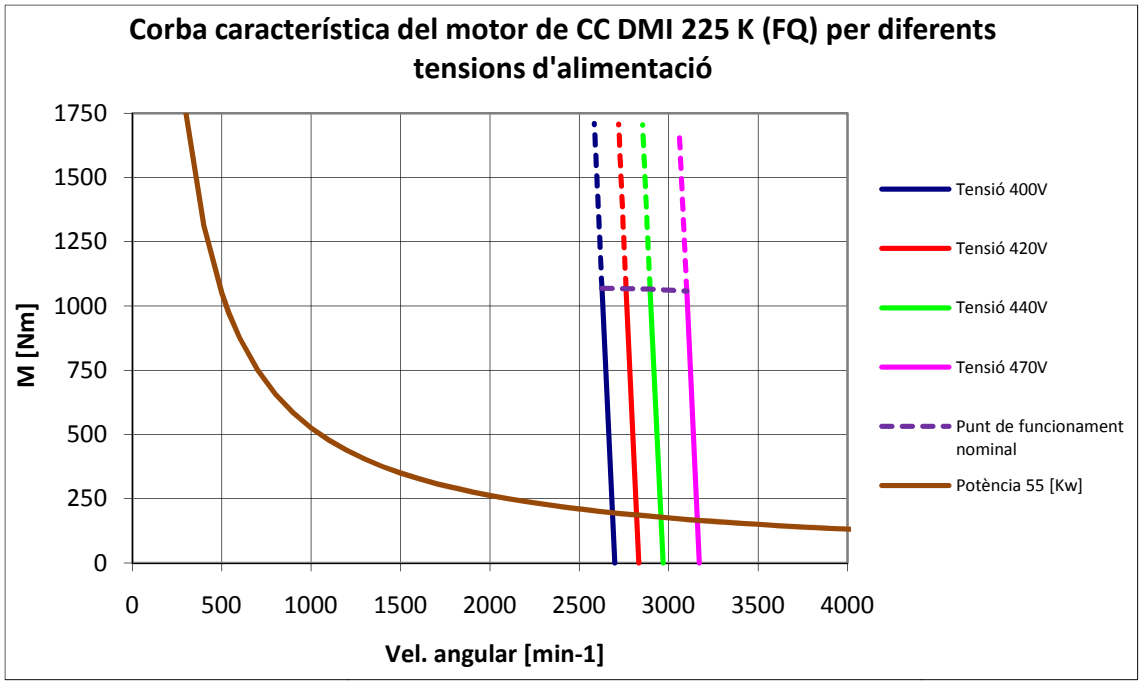


Figura 2.57. Corbes característiques del motor DMI 225K (FQ).

A continuació s'ha realitzat l'estudi de la zona de funcionament del motor amb dos reductors.

- Motor DMI 180 E (BV)

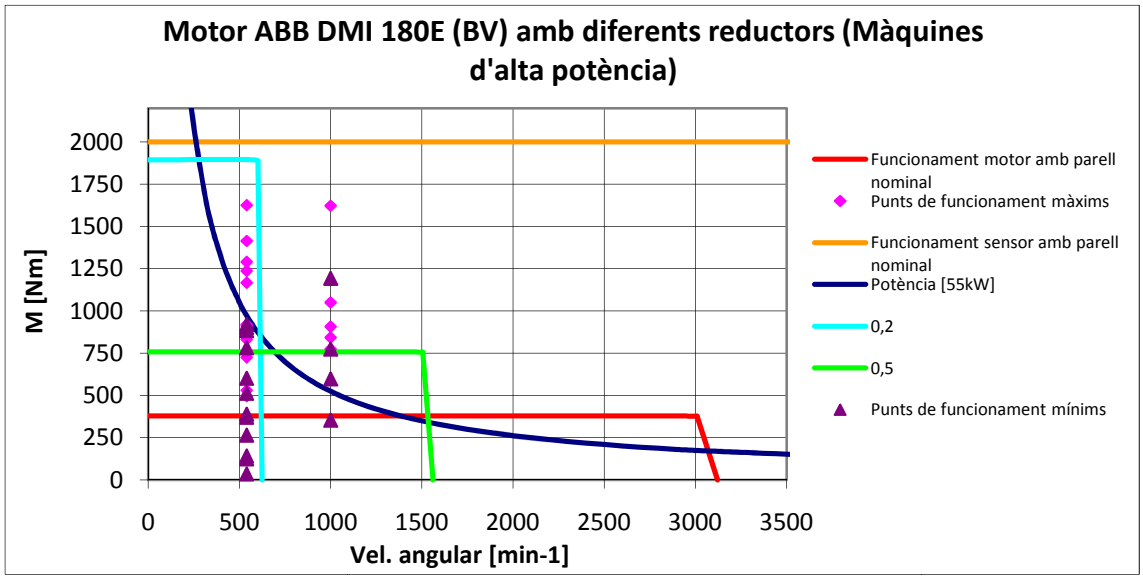


Figura 2.58. Zona de funcionament del motor DMI 180E (BV), sol i amb reductors.

- Motor DMI 180 H (BO)

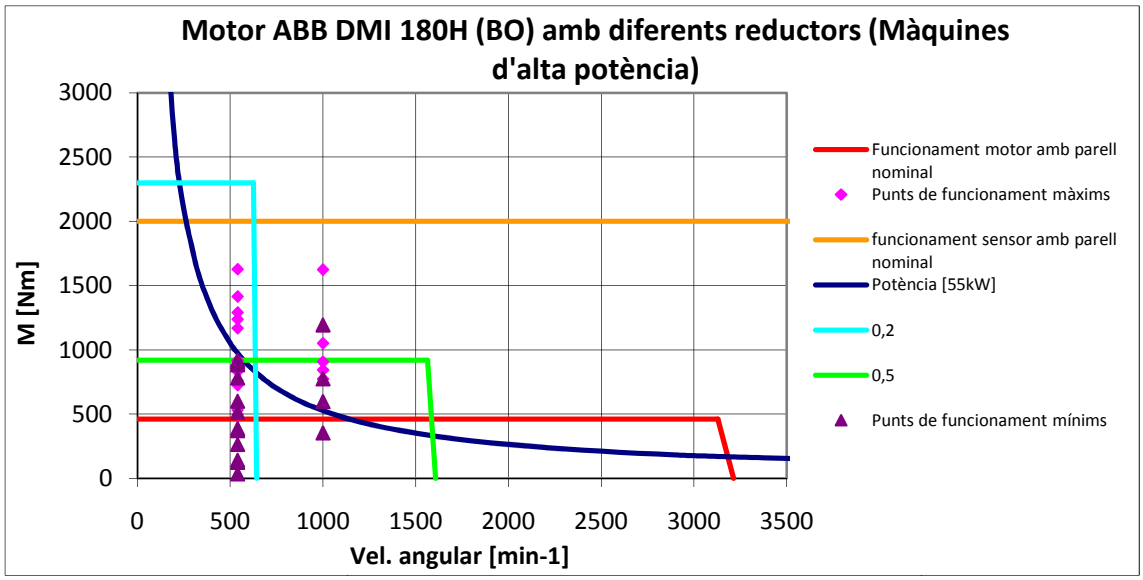


Figura 2.59. Zona de funcionament del motor DMI 180H (BO), sol i amb reductors.

- Motor DMI 200 B (EK)

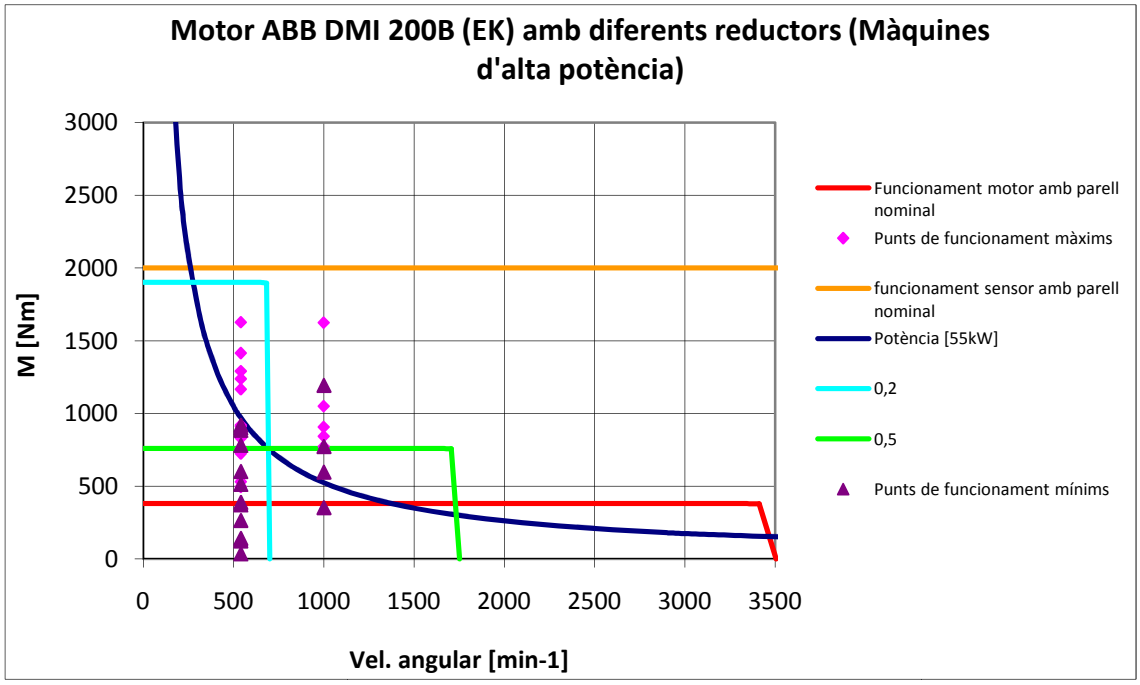


Figura 2.60. Zona de funcionament del motor DMI 200B (EK), sol i amb reductors.

- Motor DMI 200 E (ED)

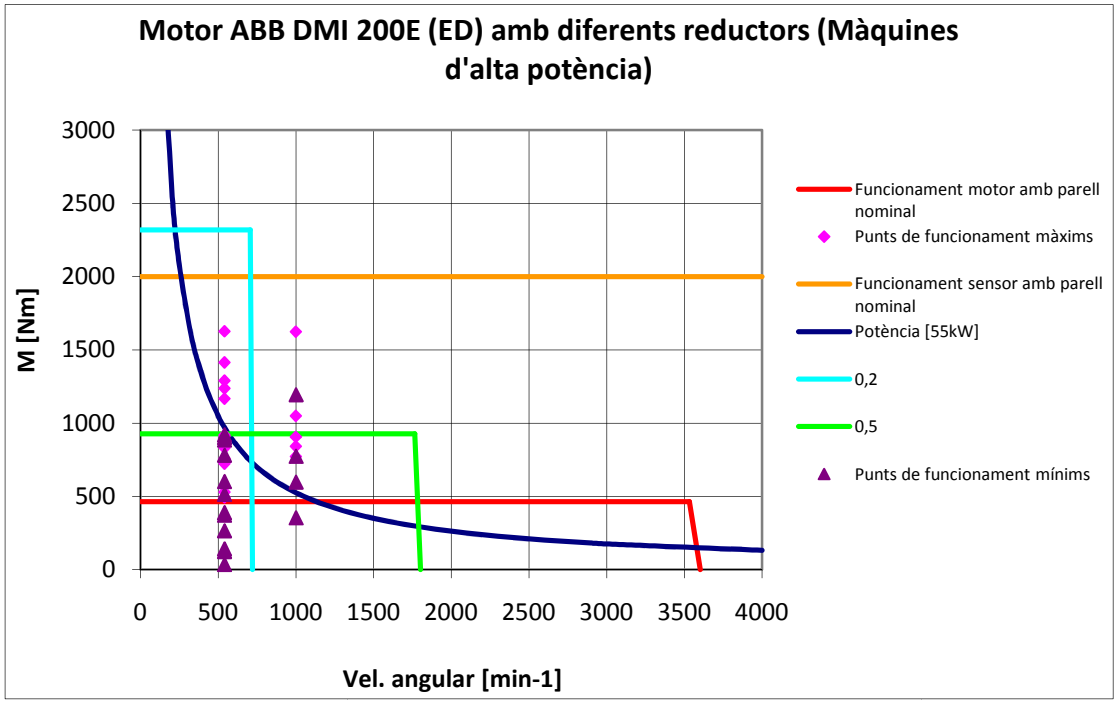


Figura 2.61. Zona de funcionament del motor DMI 200E (ED).

- Motor DMI 200 H (DU)

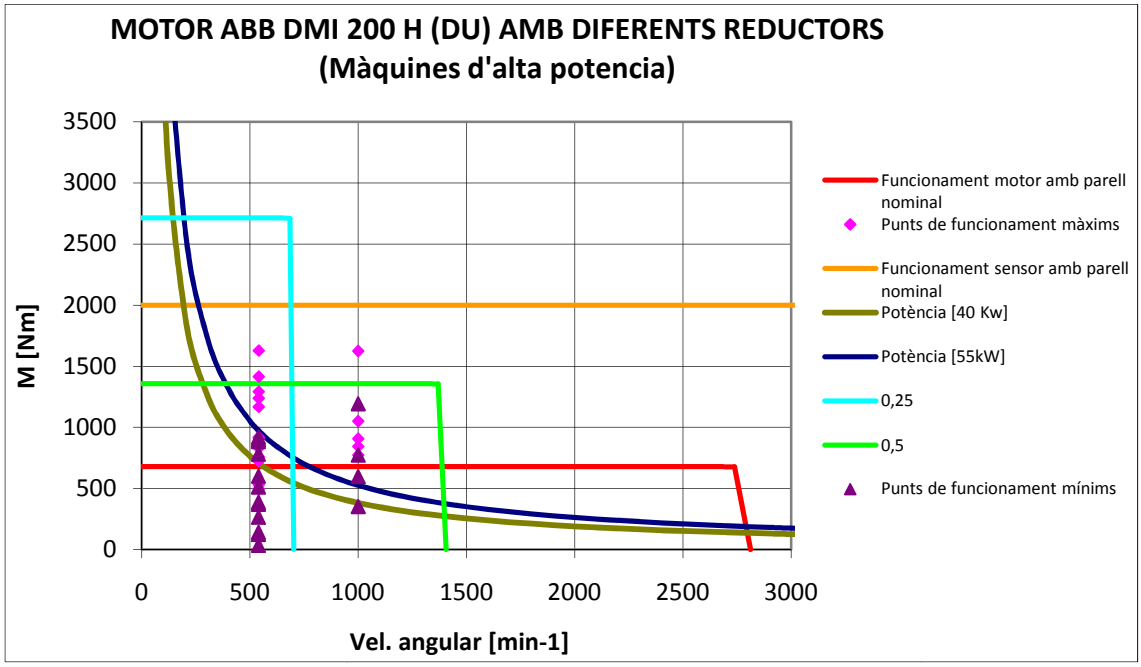


Figura 2.62. Zona de funcionament del motor DMI 200H (DU), sol i amb reductors.

- Motor DMI 225 K (FQ)

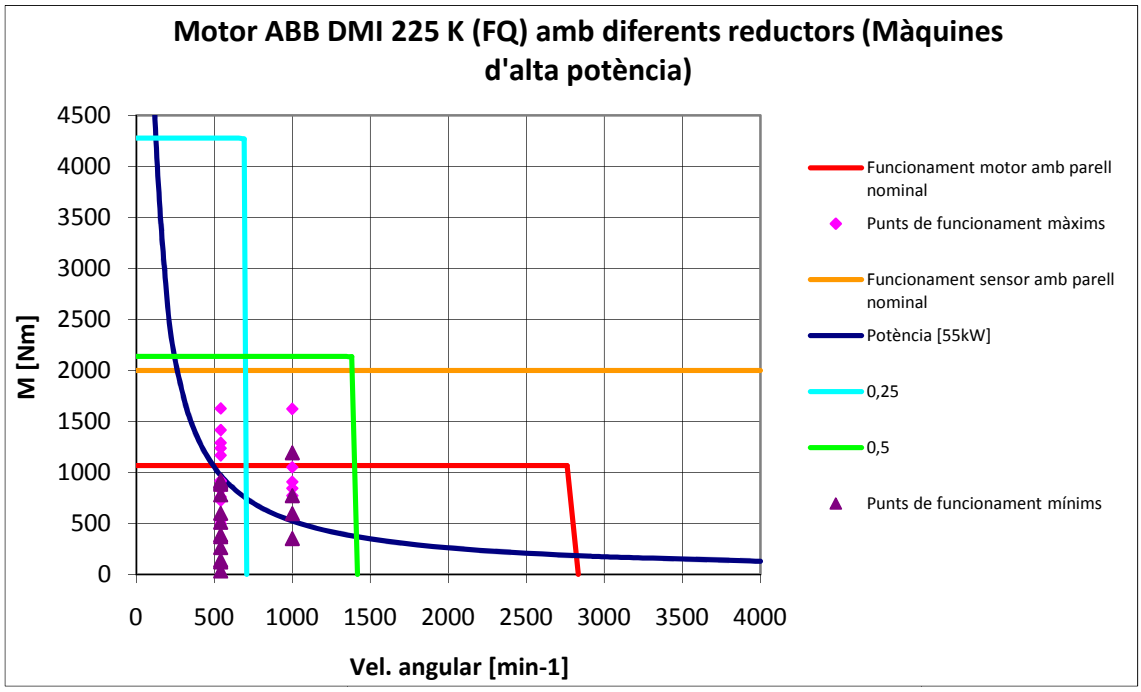


Figura 2.63. Zona de funcionament del motor DMI 225K (FQ), sol i amb reductors.

Un cop arribat amb aquest punt s'escullen els 4 motors que tenen les millors característiques pel disseny que es vol realitzar. Aquests motors són els següents:

- Motor DMI 180 H (BO)
- Motor DMI 200 E (ED)
- Motor DMI 200 H (DU)
- Motor DMI 225 K (FQ)

Aquests són els motors més adients pel projecte, perquè tenen unes prestacions més elevades que la resta, sobretot per l'elevat parell que són capaços de transmetre i per la velocitat angular de gir que tenen.

Per últim es té que realitzar un estudi, on s'ha de comparar les característiques dels quatre motors i comparar el preu de cada un d'aquests, per realitzar aquest estudi s'ha realitzat una taula on apareixen les principals característiques dels quatre motors.

	MOTOR 180 H (BO)	MOTOR 200 E (ED)	MOTOR 200 H (DU)	MOTOR 225 K (FQ)
Pes [kg]	400	430	500	740
Dimensions [llarg x ample x alt] [mm]	1332 x 360 x 831	1271 x 400 x 871	1332 x 400 x 871	1544 x 450 x 1049
Parell màxim [Nm]	460	464	678	1069
Vel. ang. a 420 V CC [min-1]	3129	3531	2738	2762
Potència a 420 V CC [kW]	151	171	194	309
Intensitat [A]	389	442	499	801
Preu motor [€]	8.835	10.289	11.252	15.481
Preu equip de control [€]	5.302	5.302	6.015	9.290
Preu filtre[€]	1.356	1.358	1.358	2.166
Preu total [€]	15.493	16.949	18.625	26.937

Taula 2.10. Comparació motors finalistes.

A partir de les dades que es poden observar en aquesta taula, hi han dos motors que es poden descartar. Aquests són :

- Motor DMI 180 H (BO) , perquè aquest motor té unes característiques tècniques inferiors al motor DMI 200 E (ED) i tenen un preu molt similar.

- Motor DMI 225 K (FQ), perquè aquest motor té un preu molt elevat a la resta de motors, també el seu pes és molt elevat. L'única característica tècnica que destaca sobre la resta de motors es el parell que pot entregar, i es pot arribar a aconseguir el mateix resultat acoblant un reductor al motor.

Per tant els dos motors finalistes són el motor DMI 200 E (ED) i el motor DMI 200 H (DU).

2.0.8. Elecció del motor

Per escollir el motor que s'utilitzarà en el banc, s'ha realitzat una gràfica on es pot visualitzar la zona de funcionament dels dos motors i també la zona de funcionament dels motors amb diferents reductors.

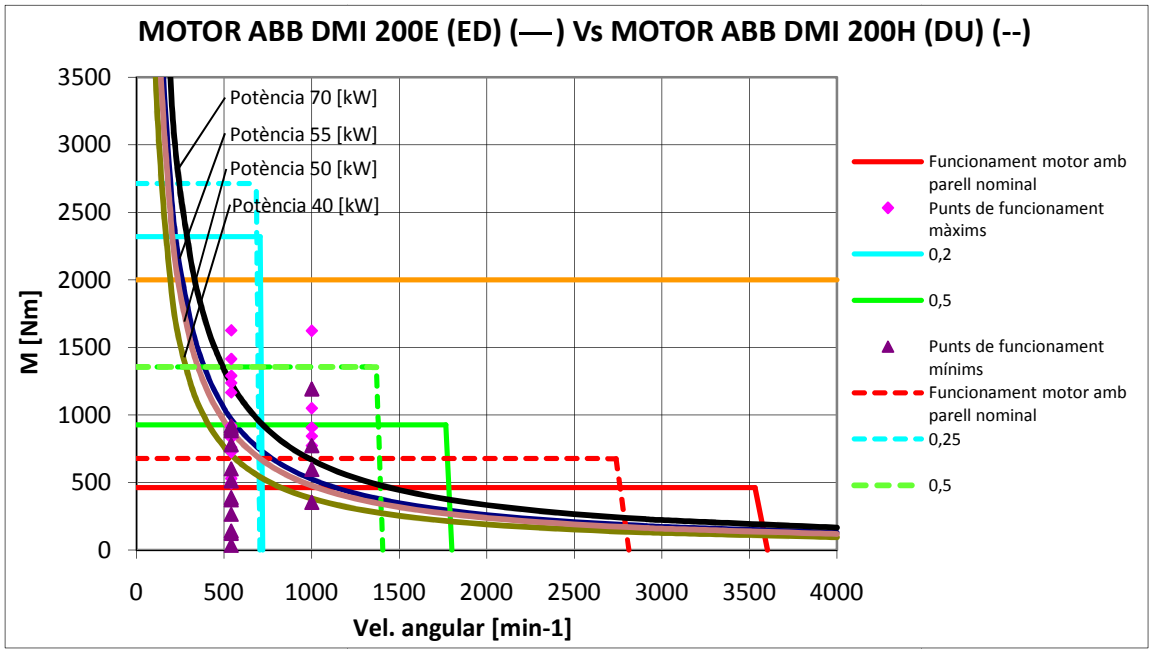


Figura 2.64. Comparació de les zones de funcionament dels motors DMI 200E (ED) i DMI 200H (DU), sols i amb reductors.

En aquest gràfic s'observa que els dos motors compleixen els requisits plantejats anteriorment. Però el motor DMI 200 H (DU), compleix els requisits només utilitzant un reductor, amb lo qual es simplifica el muntatge. A més es suprimeix el cost d'un reductor, reduint la diferencia de preu entre els dos motors, i inclús sent més favorable al conjunt de motor i reductor format pel motor DMI 200 H (DU).

2.1. CALCULS

En la realització del càlculs de l'estructura, s'ha determinat la següent metodologia de signes.

- Utilitzat pel càlcul dels esforços amb la direcció de l'eix vertical

- Utilitzats pel càlcul dels moments

2.1.1 Càlculs reaccions estructura, part motor

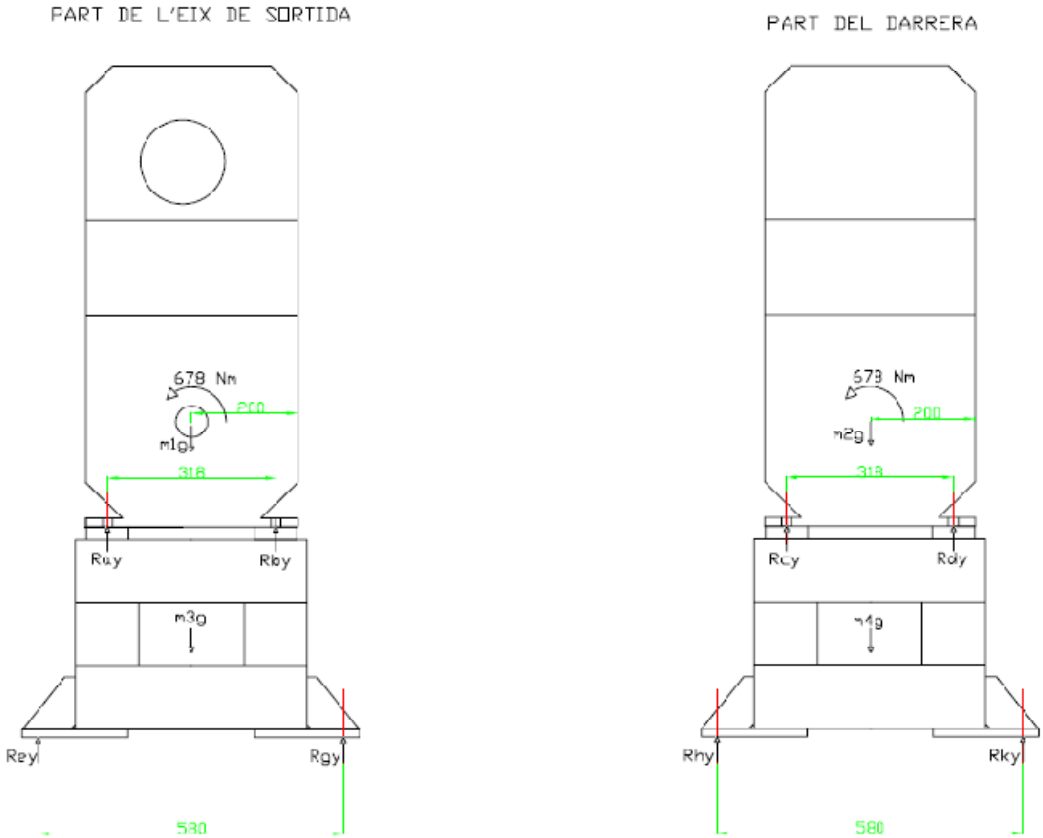


Figura 2.65. Representació dels esforços en l'estructura, part motor.

Esforços que realitza el motor en funcionament amb parell nominal (678 Nm) en els seus anclatges, de la part de l'eix de sortida del motor

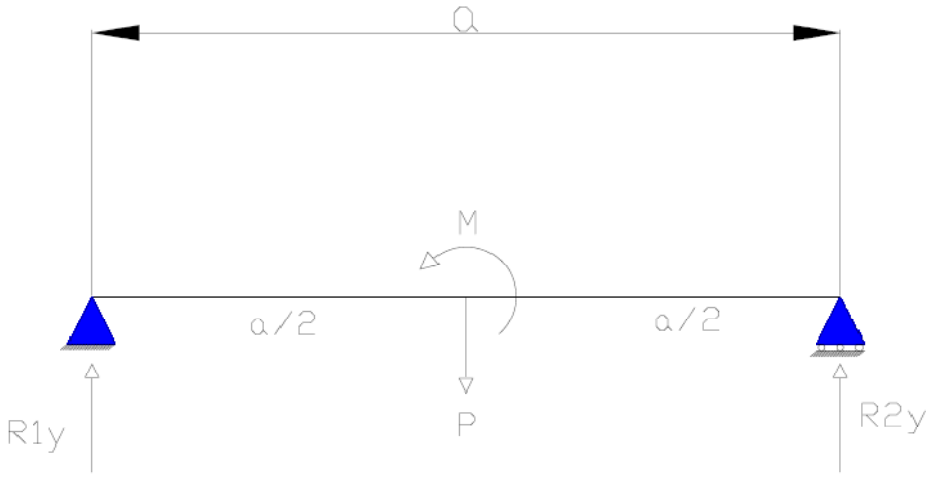


Figura 2.66. Representació dels esforços produïts en els anclatges del motor.

On:

a= 318 mm

M= 678 Nm

P= m1g = $\frac{500}{2} \cdot 9{,}81$

R1y = Ra_y

R2y = Rb_y

Càlculs

$$\sum F_y = 0 \rightarrow \; Ra_y + Rb_y - p = 0 \;\rightarrow\; R\,a_y + Rb_y - \frac{500}{2} \cdot 9{,}81 = 0$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow \; Rb_y \cdot 0{,}318 - p \cdot 0{,}159 + 678 = 0 \;\rightarrow$$

$$Rb_y \cdot 0{,}318 - \frac{500}{2} \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}159 + 678 = 0$$

Resultats obtinguts

$$\boldsymbol{Ra_y = 3.358{,}325\ N}$$

$$\boldsymbol{Rb_y = -905{,}83\ N}$$

Esforços que realitza el motor en funcionament amb parell nominal (678 Nm) en els seus anclatges, de la part del refrigerador del motor

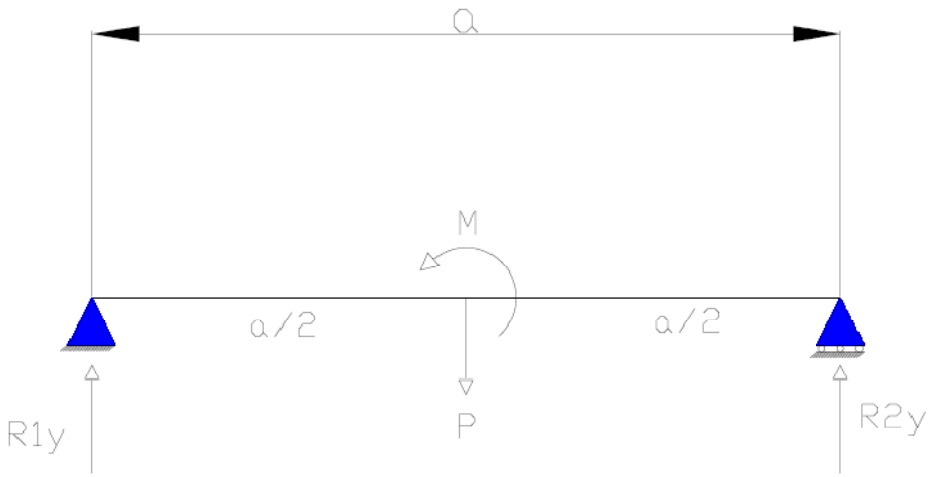


Figura 2.67. Representació dels esforços produïts en els anclatges del motor.

On:

a= 318 mm

M= 678 Nm

P= m2g + $m_{ventilador}$ = $(\frac{500}{2} + 145) \cdot 9{,}81$

R1y = Rc_y

R2y = Rd_y

Càlculs

$$\sum F_y = 0 \rightarrow Rc_y + Rd_y - p = 0 \rightarrow Rc_y + Rd_y - (\frac{500}{2} + 145) \cdot 9{,}81 = 0$$

$$\sum M_C = 0 \rightarrow Rd_y \cdot 0{,}318 - p \cdot 0{,}159 + 678 = 0 \rightarrow$$

$$Rd_y \cdot 0{,}318 - (\frac{500}{2} + 145) \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}159 + 678 = 0$$

Resultats obtinguts

$$\boldsymbol{Rc_y = 4.069{,}55\ N}$$

$$\boldsymbol{Rd_y = -194{,}6\ N}$$

Esforços que realitza el motor sobre els peus regulables en altura, amb parell nominal (678 Nm), de la part de l'eix de sortida del motor

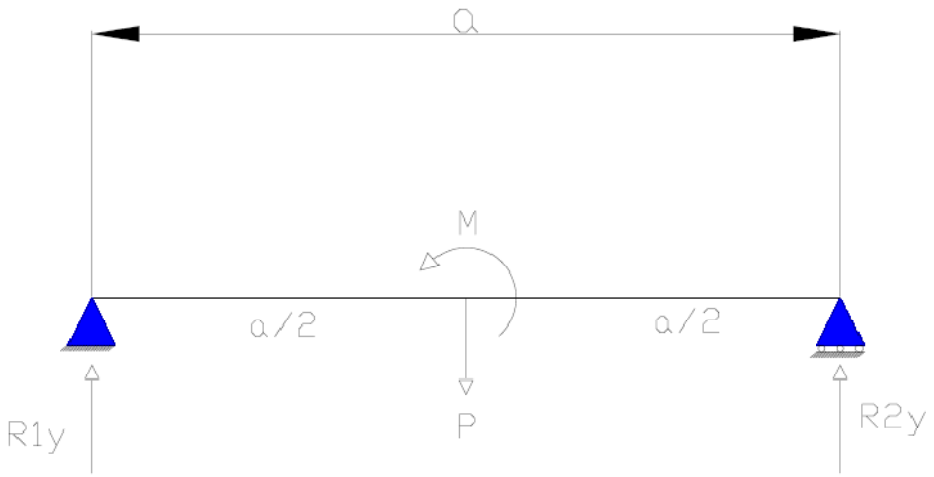


Figura 2.68. Representació dels esforços produïts en l'estructura, degut al funcionament del motor.

On:

a= 580 mm

M= 678 Nm

P= m1g + m3g= $(\frac{500}{2} + 55) \cdot 9{,}81$

R1y = Re_y

R2y = Rg_y

Càlculs

$$\sum F_y = 0 \rightarrow \; Re_y + Rg_y - p = 0 \;\rightarrow\; Re_y + Rg_y - (\frac{500}{2} + 55) \cdot 9{,}81 = 0$$

$$\sum M_E = 0 \rightarrow \; Rg_y \cdot 0{,}58 - p \cdot 0{,}29 + 678 = 0 \;\rightarrow$$

$$Rg_y \cdot 0{,}58 - (\frac{500}{2} + 55) \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}29 + 678 = 0$$

Resultats obtinguts

$$\boldsymbol{Re_y = 2.664{,}99\ N}$$

$$\boldsymbol{Rg_y = 327{,}06\ N}$$

Esforços que realitza el motor sobre els peus regulables en altura, amb parell nominal (678 Nm), de la part del refrigerador del motor

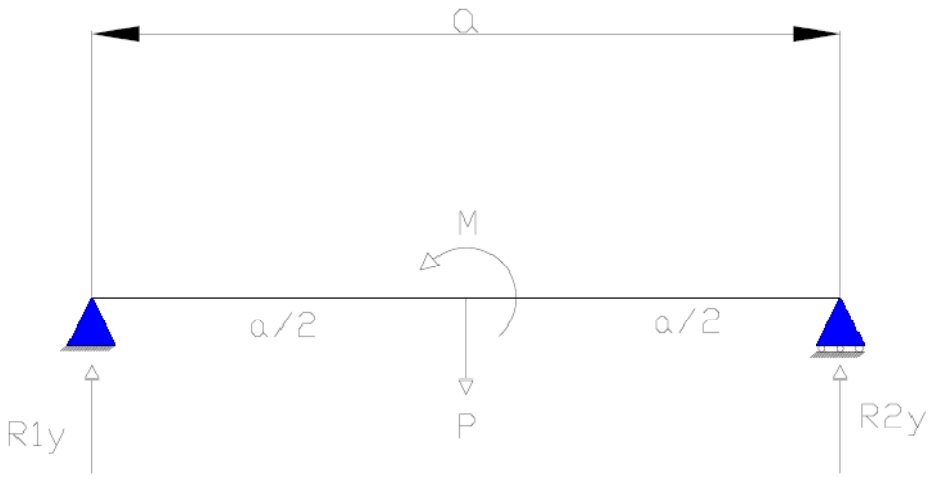


Figura 2.69. Representació dels esforços produïts en l'estructura, degut al funcionament del motor.

On:

a= 580 mm

M= 678 Nm

P= m2g + m4g = $(\frac{500}{2} + 145 + 55) \cdot 9{,}81$

R1y = Rh_y

R2y = Rk_y

Càlculs

$$\sum F_y = 0 \rightarrow \ Rh_y + Rk_y - p = 0 \ \rightarrow \ Rh_y + Rk_y - (\frac{500}{2} + 145 + 55) \cdot 9{,}81 = 0$$

$$\sum M_H = 0 \rightarrow \ Rk_y \cdot 0{,}58 - p \cdot 0{,}29 + 678 = 0 \ \rightarrow$$

$$Rk_y \cdot 0{,}58 - (\frac{500}{2} + 145 + 55) \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}29 + 678 = 0$$

Resultats obtinguts

$$\boldsymbol{Rh_y = 3.376{,}21\ N}$$

$$\boldsymbol{Rk_y = \ 1.038{,}3\ N}$$

2.1.2. Valors de les reaccions de l'estructura que suporta el motor.

Una vegada realitzats els càlculs de l'estructura de la part del motor, s'ha realitzat una taula – resum dels càlculs obtinguts.

Reacció	Valor numèric
$\mathbf{Ra_y}$	3.358,325 N
$\mathbf{Rb_y}$	-905,83 N
$\mathbf{Rc_y}$	4.069,55 N
$\mathbf{Rd_y}$	-194,6 N
$\mathbf{Re_y}$	2.664,99 N
$\mathbf{Rg_y}$	327,06 N
$\mathbf{Rh_y}$	3.376,21 N
$\mathbf{Rk_y}$	1.038,3 N

Taula 2.11. Reaccions produïdes sobre l'estructura, degudes al funcionament del motor.

2.1.3. Càlculs reaccions estructura, degut al funcionament motor i reductor.

En aquest apartat, el que es pretén és calcular els esforços que provoca el funcionament del reductor, sobre l'estructura.

Aquests càlculs són molt importants, degut a que l'estructura té que estar sempre amb contacte amb el terra perquè del contrari, aquest banc pot ser que tingui vibracions, que es tradueixin en senyals paràsites en la lectura dels sensors.

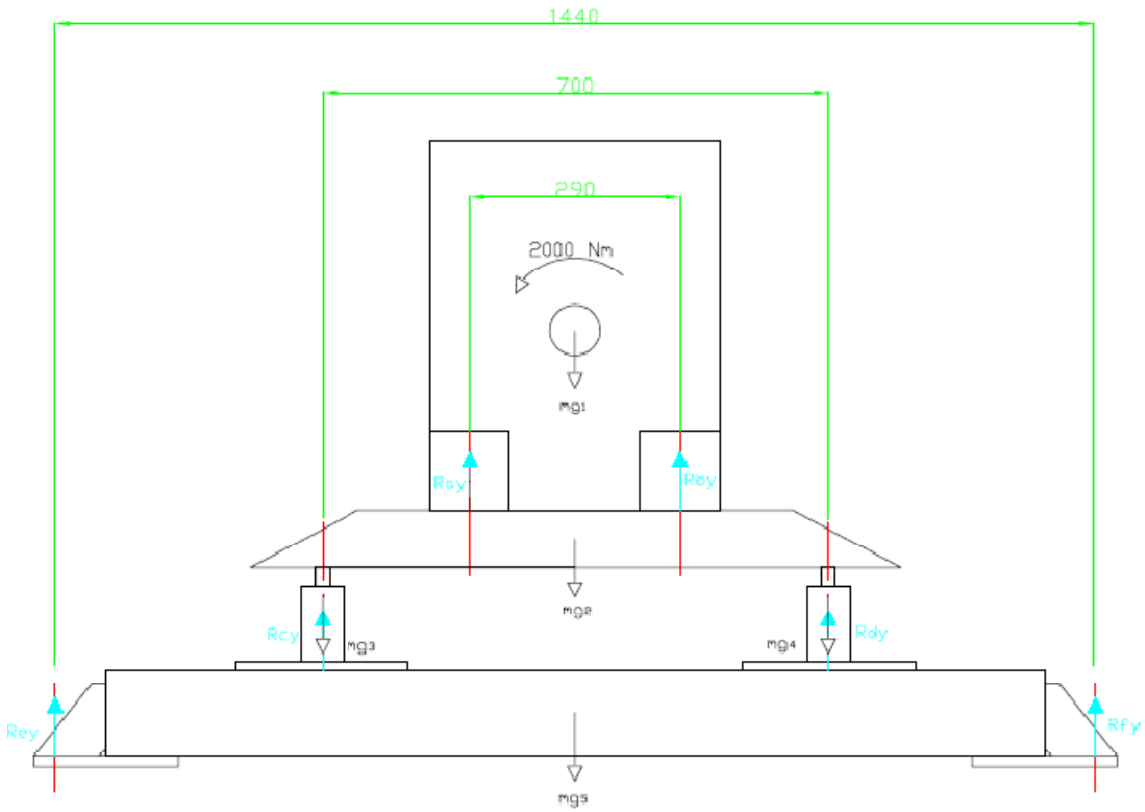


Figura 2.70. Esforços produïts en l'estructura pel funcionament del reductor.

Esforços que realitza el reductor sobre els seus anclatges, realitzant l'assaig de transmissió de 2.000 Nm

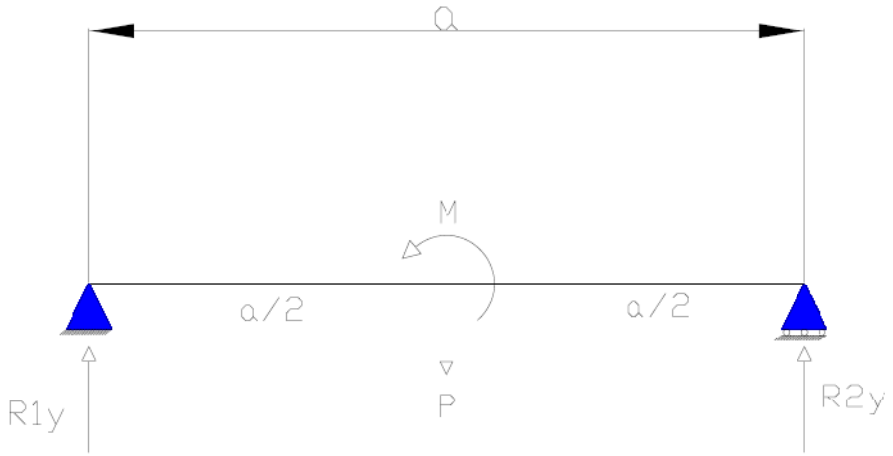


Figura 2.71.Representació dels esforços produïts sobre els anclatges del reductor.

On:

a= 290 mm

M= 1600 Nm

P= m1g = $(100) \cdot 9{,}81$

R1y = Ra_y

R2y = Rb_y

Càlculs

$$\sum F_y = 0 \rightarrow \ Ra_y + Rb_y - p = 0 \ \rightarrow \ Ra_y + Rb_y - 100 \cdot 9{,}81 = 0$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow \ Rb_y \cdot 0{,}29 - p \cdot 0{,}145 + 1600 = 0 \ \rightarrow$$

$$Rb_y \cdot 0{,}29 - 100 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}145 + 1600 = 0$$

Resultats obtinguts

$$\boldsymbol{Ra_y = 6.007{,}74\ N}$$

$$\boldsymbol{Rb_y = -5.026{,}74\ N}$$

Esforços que realitza el reductor sobre els utillatges que el suporten, durant l'assaig de transmissió de parell de 2000 Nm

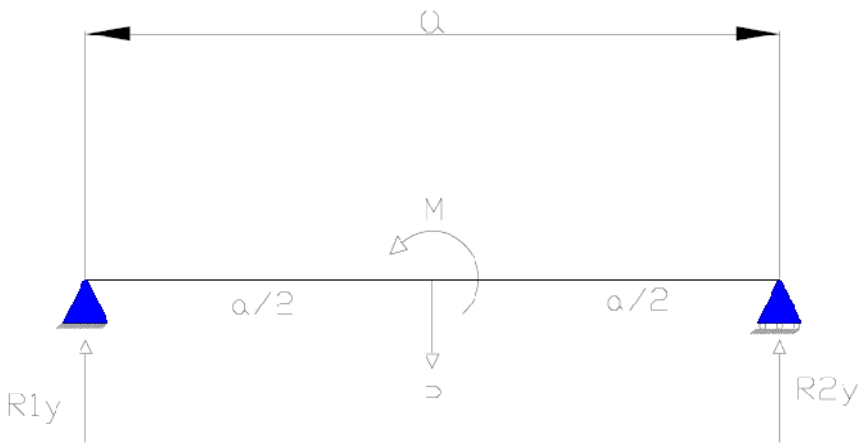


Figura 2.72. Representació dels esforços que realitza el reductor sobre els utillatges que suporten el reductor.

On:

a= 700 mm

M= 1600 Nm

P= m1g + m2g = $(100 + 7{,}93) \cdot 9{,}81$

R1y = Rc_y

R2y = Rd_y

Càlculs

$$\sum F_y = 0 \rightarrow \; Rc_y + Rd_y - mg = 0 \;\rightarrow\; Rc_y + Rd_y - (100 + 7{,}93) \cdot 9{,}81 = 0$$

$$\sum M_C = 0 \rightarrow \; Rd_y \cdot 0{,}7 - p \cdot 0{,}35 + 1600 = 0 \;\rightarrow$$

$$Rd_y \cdot 0{,}7 - (100 + 7{,}93) \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}35 + 1600 = 0$$

Resultats obtinguts

$$\boldsymbol{Rc_y = 2.659{,}51\ N}$$

$$\boldsymbol{Rd_y = -1.756{,}31\ N}$$

Els anclatges del reductor estan suportats per 4 cargols de M12, per tant l'esforç que han de suportar cada cargol a tracció és:

$$F_{tracció} = \frac{1756{,}31}{4} = 439{,}08\ N$$

<u>Esforços que realitza el reductor sobre els anclatges de l'estructura, durant l'assaig de 2000 Nm, sobre els peus regulables en altura.</u>

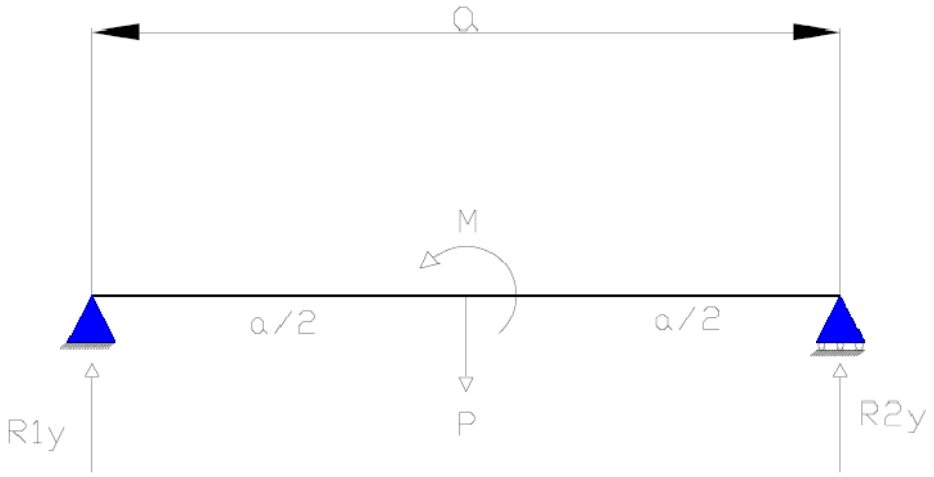


Figura 2.73. Representació dels esforços que realitza el reductor sobre els anclatges de l'estructura.

On:

a= 1440 mm

M= 1600 Nm

P= m1g + m2g + m3g = $(100 + 7{,}93\ +\ 171{,}61) \cdot 9{,}81$

R1y = Re_y

R2y = Rg_y

<u>Càlculs</u>

$$\sum F_y = 0 \rightarrow\ Re_y +\ Rg_y - p = 0\ \ \rightarrow\ \ Re_y +\ Rg_y - 279{,}54 \cdot 9{,}81 = 0$$

$$\sum M_E = 0 \rightarrow\ Rg_y \cdot 1{,}44 - p \cdot 0{,}72 + 1600 = 0\ \ \rightarrow$$

$$Rg_y \cdot 1{,}44 - (279{,}54) \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}72 + 1600 = 0$$

Resultats obtinguts

$\boldsymbol{Re_y = 2.482,26\ N}$

$\boldsymbol{Rg_y = 260,03\ N}$

2.1.4. Valors de les reaccions de l'estructura que suporta el reductor.

Una vegada realitzats els càlculs de l'estructura de la part del motor, s'ha realitzat una taula – resum dels càlculs obtinguts.

Reacció	Valor numèric
$\mathbf{Ra_y}$	6.007,74 N
$\mathbf{Rb_y}$	-5.026,74 N
$\mathbf{Rc_y}$	2.659,51 N
$\mathbf{Rd_y}$	-1.756,31 N
$\mathbf{Re_y}$	2482,26 N
$\mathbf{Rg_y}$	260,03 N

Taula 2.12. Reaccions sobre la bancada degut al funcionament del reductor.

2.1.5. Càlculs de les reaccions de l'estructura, de la part destinada a collar màquines

En aquest punt, s'ha realitzat el càlcul dels esforços produïts sobre l'estructura on van ubicades les màquines, durant l'assaig de 2000 Nm. Aquest càlcul s'ha realitzat per dos cassos oposats, és a dir, per una màquina amb una massa de 1.000 kg i per una màquina amb una massa de 3.000 kg.

Aquestes màquines estaran suportades per 4 utillatges. També es suposarà una distancia mínima de separació entre els anclatges de les màquines de 600 mm.

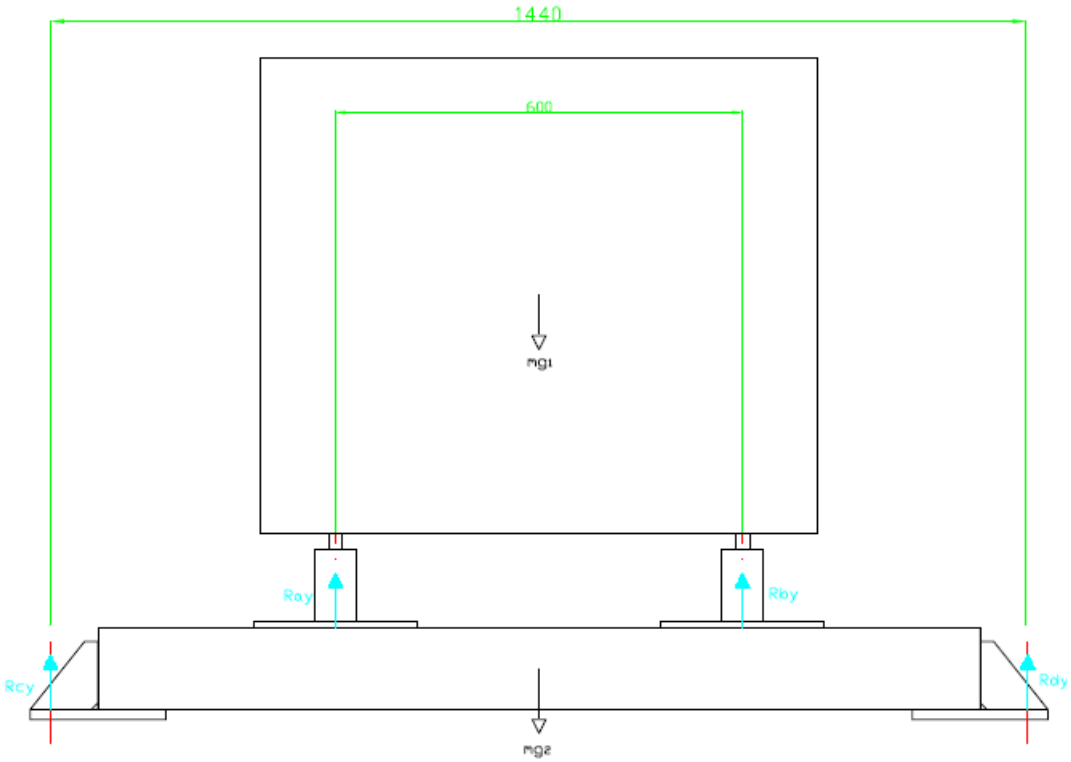


Figura 2.74. Esforços produïts en la part de l'estructura destinada a collar màquines, durant l'assaig de transmissió de parell de 2.000 Nm.

Esforços que realitza una màquina de 3000 kg, durant l'assaig de transmissió de parell de 2000 Nm (està suportat per 4 anclatges).

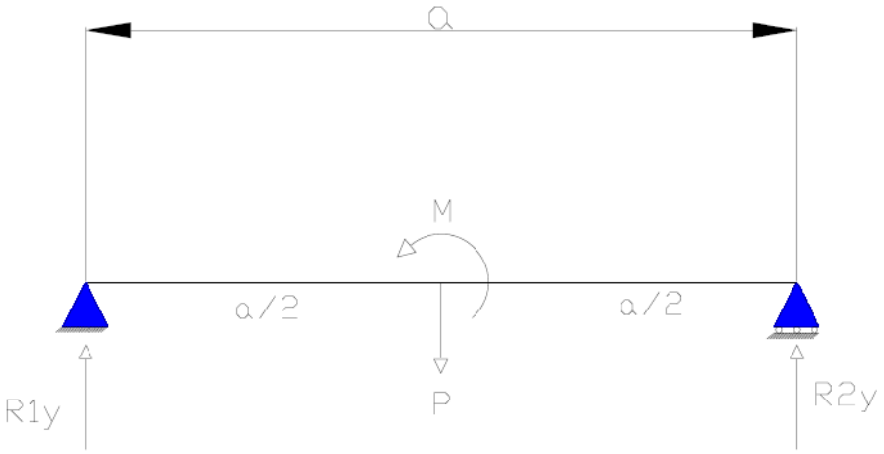


Figura 2.75. Representació dels esforços que es produeixen sobre els anclatges de la màquina

On:

a= 600 mm

M= 2000 Nm

P= m1g = $(\frac{3000}{2}) \cdot 9{,}81$

R1y = Ra_y

R2y = Rb_y

Càlculs

$$\sum F_y = 0 \rightarrow \; Ra_y + Rb_y - p = 0 \;\rightarrow\; Ra_y + Rb_y - (\frac{3000}{2}) \cdot 9{,}81 = 0$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow \; Rb_y \cdot 0{,}6 - p \cdot 0{,}3 + 2000 = 0 \;\rightarrow$$

$$Rb_y \cdot 0{,}6 - (\frac{3000}{2}) \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}3 + 2000 = 0$$

Resultats

$$\boldsymbol{Ra_y = 10.690{,}8\ N}$$

$$\boldsymbol{Rb_y = 4.024{,}2\ N}$$

Esforços que realitza una màquina de 3000 kg, durant l'assaig de transmissió de parell de 2000 Nm sobre els anclatges de l'estructura (està suportat per 4 anclatges).

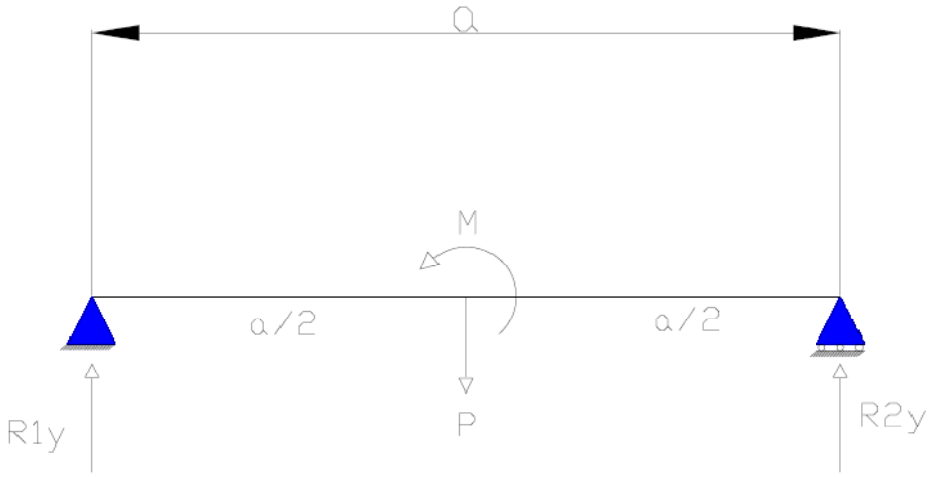


Figura 2.76. Representació dels esforços que es produeixen sobre els anclatges de l'estructura.

On:

a= 1440 mm

M= 2000 Nm

P= m1g +m2g = $(\frac{3000}{2} + 158{,}7) \cdot 9{,}81$

R1y = Rc_y

R2y = Rd_y

Càlculs

$$\sum F_y = 0 \rightarrow \; Rc_y + Rd_y - p = 0 \;\rightarrow\; Rc_y + Rd_y - (\frac{3000}{2} + 158{,}7) \cdot 9{,}81 = 0$$

$$\sum M_C = 0 \rightarrow \; Rd_y \cdot 1{,}44 - p \cdot 0{,}72 + 2000 = 0 \;\rightarrow$$

$$Rd_y \cdot 1{,}44 - (\frac{3000}{2} + 158{,}7) \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}72 + 2000 = 0$$

Resultats

$\boldsymbol{Rc_y = 9.524{,}82\ N}$

$\boldsymbol{Rd_y = 6.747{,}03\ N}$

Esforços que realitza una màquina de 1000 kg, durant l'assaig de transmissió de parell de 2000 Nm sobre els seus anclatges (està suportat per 4 anclatges)

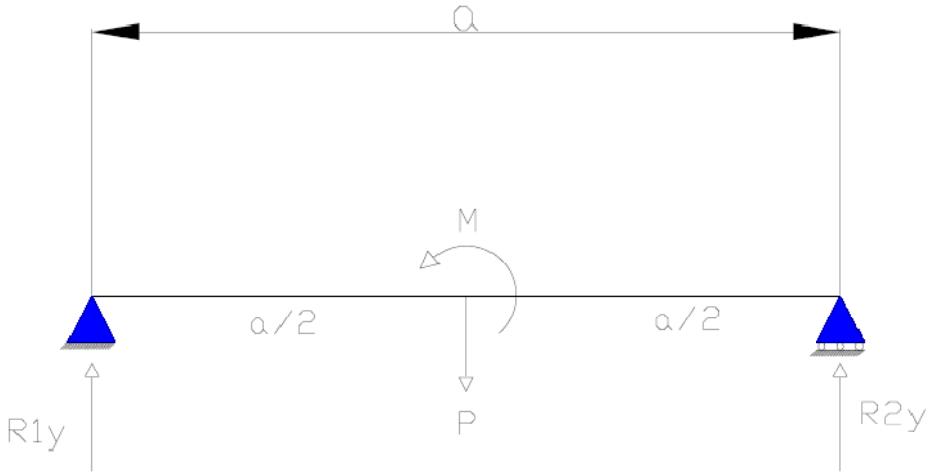


Figura 2.77. Representació dels esforços produïts en els anclatges de la màquina.

On:

a= 600 mm

M= 2000 Nm

P= m1g = $(\frac{1000}{2}) \cdot 9{,}81$

R1y = Ra_y

R2y = Rb_y

Càlculs

$$\sum F_y = 0 \rightarrow \; Rd_y + Re_y - p = 0 \;\rightarrow\; Rd_y + Re_y - (\frac{1000}{2}) \cdot 9{,}81 = 0$$

$$\sum M_D = 0 \rightarrow \; Re_y \cdot 0{,}6 - p \cdot 0{,}3 + 2000 = 0 \;\rightarrow$$

$$Re_y \cdot 0{,}6 - (\frac{1000}{2}) \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}3 + 2000 = 0$$

Resultats

$$\boldsymbol{Rd_y = 5.785{,}84\ N}$$

$$\boldsymbol{Re_y = -880{,}84\ N}$$

Els anclatges de les màquines s'hauran de dissenyar tenint en compte l'esforç màxim de tracció que pot suportar cada cargol de M-12, és a dir, segons l'esforç de tracció a suportar per l'anclatge, aquest tindrà que estar collat a l'estructura pel nombre de cargols necessaris.

<u>Esforços que realitza una màquina de 1000 kg, durant l'assaig de transmissió de parell de 2000 Nm sobre els anclatges de l'estructura (està suportat per 4 anclatges).</u>

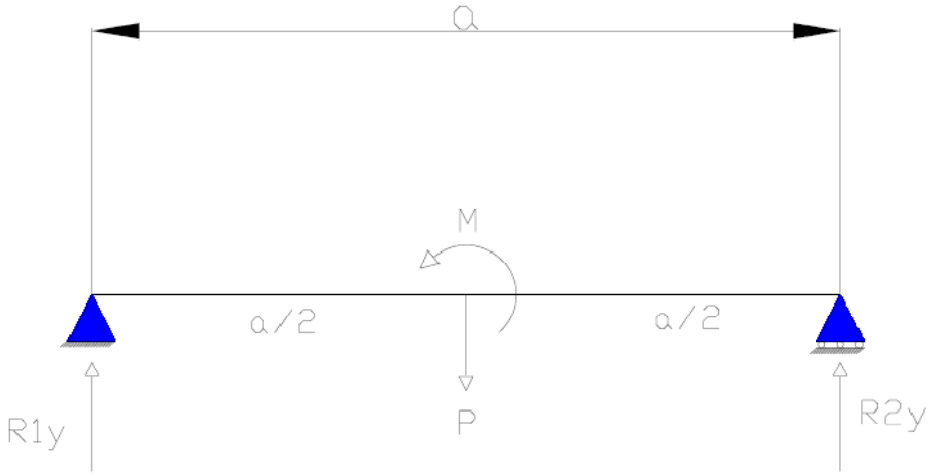


Figura 2.78. Representació dels esforços produïts en els anclatges de l'estructura.

On:

a= 1440 mm

M= 2000 Nm

P= m1g +m2g = $(\frac{1000}{2} + 158{,}7) \cdot 9{,}81$

R1y = Rc_y

R2y = Rd_y

<u>Càlculs</u>

$$\sum F_y = 0 \rightarrow \; Rf_y + Rh_y - p = 0 \;\rightarrow\; Rf_y + Rh_y - (\frac{1000}{2} + 158{,}7) \cdot 9{,}81 = 0$$

$$\sum M_f = 0 \rightarrow \; Rh_y \cdot 1{,}44 - p \cdot 0{,}72 + 2000 = 0 \;\rightarrow$$

$$Rf_y \cdot 1{,}44 - (\frac{1000}{2} + 158{,}7) \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}72 + 2000 = 0$$

Resultats obtinguts

$$\boldsymbol{Rf_y = 4.619{,}74\ N}$$

$$\boldsymbol{Rh_y = 1.841{,}96\ N}$$

Com es pot observar tots els punts de suport de la bancada respecte el terra, estan sotmesos a compressió, la qual cosa es vital pel bon funcionament de la mateixa. Per altra banda, la situació real no es tan critica, com la situació calculada, ja que l'estructura està formada per perfils estructurals tancats units entre ells per mitjà d'altres tubs estructurals i per reforçar la part central s'ha soldat una xapa que uneix els dos tubs estructurals de l'estructura. També la xapa que serveix per collar les màquines, compleix una altra funció que es la d'unir tots els tubs estructurals per la part de sobre, fet que reforça l'estructura davant de la torsió.

2.1.6. Valors de les reaccions de l'estructura destinada a collar màquines.

Una vegada realitzats els càlculs de l'estructura de la part del motor, s'ha realitzat una taula – resum dels càlculs obtinguts.

Reacció	Valor numèric
Ra_y	10.690,8 N
Rb_y	4.024,2 N
Rc_y	9.524,82 N
Rd_y	6.747,03 N
Re_y	5.785,84 N
Rg_y	-880,84 N
Rf_y	4.619,74 N
Rh_y	1.841,96 N

Taula 2.13. Reaccions sobre la bancada degut a l'assaig a realitzar.

2.1.7. Càlcul resistència cargols a tracció

La realització d'aquests càlculs són per saber si aquests cargols podran suportar l'esforç, al que estaran sotmesos, o pel contrari, s'hauran de dimensionar.
L'equació per calcular l'esforç de tracció es presenta a continuació.

$$T_{tr}\,[N] = 0{,}8 \cdot \sigma_e \cdot A_n \quad \text{(Equació 2.7)}$$

On:

Tr = L'esforç de tracció resultant del càlcul [N]

σ_e = Límit elàstic del cargol, depèn de la qualitat de l'acer d'aquest [N/mm^2]

A_n = Area neta del cargol [mm^2]

Els valors del límit elàstic, es poden consultar en la següent taula, segons la qualitat del acer del cargol, en el cas del banc, tots els cargols i femelles són amb qualitat 8.8

Valors nominals del límit elàstic (σ_e) i de la resistència a tracció (σ_t) dels cargols							
Tipus de cargol	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
σ_e [N/mm^2]	240	320	300	400	480	640	900
σ_t [N/mm^2]	400	400	500	500	600	800	1000

Taula 2.14. Característiques dels diversos acers, amb que es fabriquen cargols.

Per poder calcular l'àrea neta del cargol s'ha de realitzar un esquema d'aquest, de manera que es pugui observar les variables de càlcul.

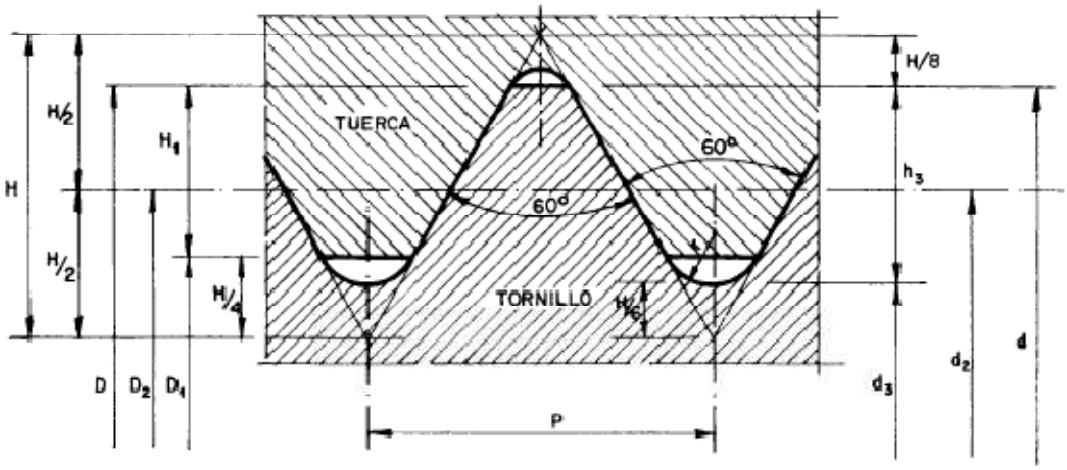


Figura 2.79. Representació rosca del cargol i femella, segons norma ISO.

L'àrea neta del cargol es calcula a partir de l'equació 2.8.

$$A_n[mm^2] = \pi \cdot \frac{d_3^2}{4} \quad \text{(Equació 2.8)}$$

Com es pot veure en el esquema de la rosca, el d_3 es el diàmetre format per l'ànima del cargol.

On d_3, a la seva vegada es calcula de la següent manera:

$$d_3[mm] = d + \left(2 \cdot \frac{H}{8}\right) - (2 \cdot H) + (2 \cdot \frac{H}{6}) \quad \text{(Equació 2.9)}$$

El valor d, es pot consultar de la següent taula, segons la mètrica del cargol.

Tipo de tornillo	Diá-metro de la caña *d*
TR 12	12
TR 16	16
TR 20	20
TR 22	22
TR 24	24
TR 27	27

Taula 2.15. Diàmetre de les tiges dels cargols.

Només queda saber el valor de H, que es pot calcular de la següent forma:

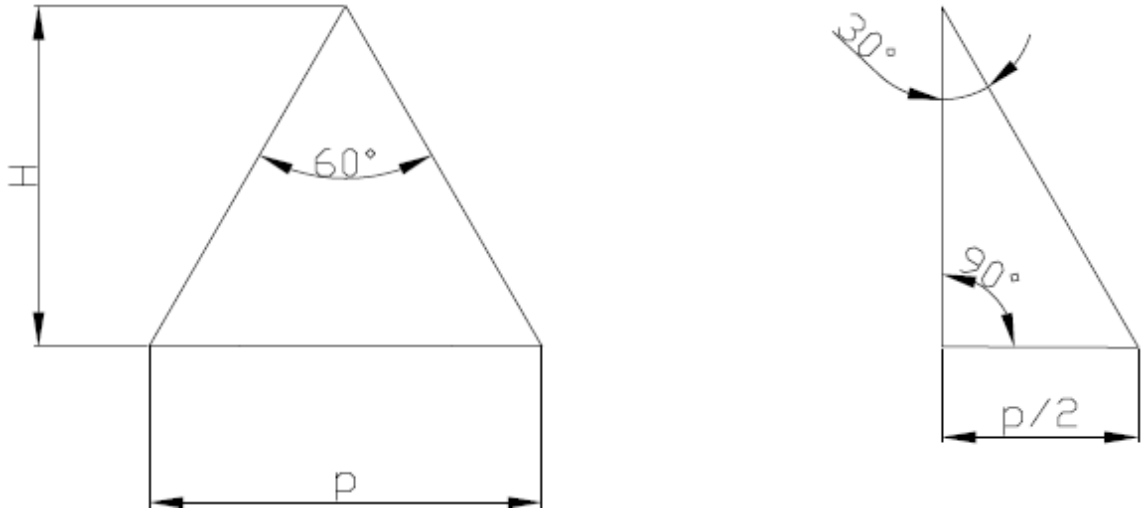


Figura 2.80. Representació de la rosca dels cargols amb rosca mètrica.

$$tan\ 30^o = \frac{p/2}{H} \quad \rightarrow \quad H[mm] = \frac{p/2}{\tan 30^o}$$

On:

H = altura del triangle [mm]

p = pas de la rosca [$mm/volta$]

Càlcul de l'esforç a tracció del cargol M12 x 1

El primer càlcul que es realitzarà, es la força a tracció que pot suportar els cargols de M12 amb un p=1, utilitzats per collar màquines.

Primer es calcula l'altura de la rosca.

$$H[mm] = \frac{p/2}{\tan 30^o} \rightarrow H[mm] = \frac{1/2}{\tan 30^o} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

Una vegada obtinguda l'altura de la rosca es pot resoldre l'equació 2.9.

$$d_3[mm] = d + \left(2 \cdot \frac{H}{8}\right) - (2 \cdot H) + \left(2 \cdot \frac{H}{6}\right) =$$

$$12 + \left(2 \cdot \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{8}\right) - \left(2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}\right) + \left(2 \cdot \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{6}\right) = 10{,}77\ mm$$

A partir d'aquest punt es pot obtenir l'àrea neta del cargol.

$$A_n[mm^2] = \pi \cdot \frac{d_3^2}{4} = \pi \cdot \frac{10{,}77^2}{4} = 91{,}1\ mm^2$$

Per últim, es pot calcular l'esforç de tracció capaç de suportar el cargol. En cap cas l'esforç que te que suportar el cargol en l'aplicació serà superior al d'aquest càlcul.

$$T_{tr}\ [N] = 0{,}8 \cdot \sigma_e \cdot A_n = 0{,}8 \cdot 640 \cdot 91{,}1 = \mathbf{46.643{,}2\ N}$$

Càlcul de l'esforç a tracció del cargol M14 x 2

A continuació s'ha calculat l'esforç de tracció que pot suportar un cargol de M14 x 2

Primer es calcula l'altura de la rosca.

$$H[mm] = \frac{p/2}{\tan 30^o} \rightarrow H[mm] = \frac{2/2}{\tan 30^o} = \sqrt{3}$$

Una vegada obtinguda l'altura de la rosca es pot resoldre l'equació 2.9.

$$d_3[mm] = d + \left(2 \cdot \frac{H}{8}\right) - (2 \cdot H) + \left(2 \cdot \frac{H}{6}\right) =$$

$$14 + \left(2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{8}\right) - \left(2 \cdot \sqrt{3}\right) + \left(2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{6}\right) = 11{,}546\ mm$$

A partir d'aquest punt es pot obtenir l'àrea neta del cargol.

$$A_n[mm^2] = \pi \cdot \frac{d_3^2}{4} = \pi \cdot \frac{11{,}546^2}{4} = 104{,}71\ mm^2$$

Per últim, es pot calcular l'esforç de tracció capaç de suportar el cargol. En cap cas l'esforç que te que suportar el cargol en l'aplicació serà superior al d'aquest càlcul.

$T_{tr}\ [N] = 0{,}8 \cdot\ \sigma_e \cdot\ A_n = 0{,}8 \cdot 640 \cdot 104{,}71 = \mathbf{53.611{,}52\ N}$

<u>Càlcul de l'esforç a tracció del cargol M16 x 2</u>

S'ha prosseguit amb el càlcul dels cargols de M16 x 2

Primer es calcula l'altura de la rosca.

$$H[mm] = \frac{p/2}{\tan 30^o} \rightarrow H[mm] = \frac{2/2}{\tan 30^o} = \sqrt{3}$$

Una vegada obtinguda l'altura de la rosca es pot resoldre l'equació 2.9.

$$d_3[mm] = d + \left(2 \cdot \frac{H}{8}\right) - (2 \cdot H) + \left(2 \cdot \frac{H}{6}\right) =$$

$$16 + \left(2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{8}\right) - \left(2 \cdot \sqrt{3}\right) + \left(2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{6}\right) = 13{,}546\ mm$$

A partir d'aquest punt es pot obtenir l'àrea neta del cargol.

$$A_n[mm^2] = \pi \cdot \frac{d_3^2}{4} = \pi \cdot \frac{13{,}546^2}{4} = 144{,}12\ mm^2$$

Per últim, es pot calcular l'esforç de tracció capaç de suportar el cargol. En cap cas l'esforç que te que suportar el cargol en l'aplicació serà superior al d'aquest càlcul.

$T_{tr}\ [N] = 0{,}8 \cdot\ \sigma_e \cdot\ A_n = 0{,}8 \cdot 640 \cdot 104{,}71 = \mathbf{73.789{,}44\ N}$

<u>Càlcul de l'esforç a tracció del cargol M20 x 2,5</u>

A continuació, s'ha calculat l'esforç de tracció màxim que pot suportar un cargol de M20 x 2,5

Primer es calcula l'altura de la rosca.

$$H[mm] = \frac{p/2}{\tan 30^o} \rightarrow H[mm] = \frac{2{,}5/2}{\tan 30^o} = \frac{5 \cdot \sqrt{3}}{4}$$

Una vegada obtinguda l'altura de la rosca es pot resoldre l'equació 2.9.

$$d_3[mm] = d + \left(2 \cdot \frac{H}{8}\right) - (2 \cdot H) + \left(2 \cdot \frac{H}{6}\right) =$$

$$20 + \left(2 \cdot \frac{\frac{5 \cdot \sqrt{3}}{4}}{8}\right) - \left(2 \cdot \frac{5 \cdot \sqrt{3}}{4}\right) + \left(2 \cdot \frac{\frac{5 \cdot \sqrt{3}}{4}}{6}\right) = 16{,}93\ mm$$

A partir d'aquest punt es pot obtenir l'àrea neta del cargol.

$$A_n[mm^2] = \pi \cdot \frac{d_3^2}{4} = \pi \cdot \frac{16{,}93^2}{4} = 225{,}11\ mm^2$$

Per últim, es pot calcular l'esforç de tracció capaç de suportar el cargol. En cap cas l'esforç que te que suportar el cargol en l'aplicació serà superior al d'aquest càlcul.

$$T_{tr}\ [N] = 0{,}8 \cdot \sigma_e \cdot A_n = 0{,}8 \cdot 640 \cdot 225{,}11 = \mathbf{115.258{,}71\ N}$$

<u>Càlcul de l'esforç a tracció del cargol M24 x 3 mm.</u>

Per últim s'ha calculat l'esforç de tracció màxim que pot suportar un cargol de M24 x 3. Primer es calcula l'altura de la rosca.

$$H[mm] = \frac{p/2}{\tan 30^o} \rightarrow H[mm] = \frac{3/2}{\tan 30^o} = \frac{3 \cdot \sqrt{3}}{2}$$

Una vegada obtinguda l'altura de la rosca es pot resoldre l'equació 2.9.

$$d_3[mm] = d + \left(2 \cdot \frac{H}{8}\right) - (2 \cdot H) + \left(2 \cdot \frac{H}{6}\right) =$$

$$24 + \left(2 \cdot \frac{\frac{3 \cdot \sqrt{3}}{2}}{8}\right) - \left(2 \cdot \frac{3 \cdot \sqrt{3}}{2}\right) + \left(2 \cdot \frac{\frac{3 \cdot \sqrt{3}}{2}}{6}\right) = 20{,}32\ mm$$

A partir d'aquest punt es pot obtenir l'àrea neta del cargol.

$$A_n[mm^2] = \pi \cdot \frac{d_3^2}{4} = \pi \cdot \frac{20{,}32^2}{4} = 324{,}29\ mm^2$$

Per últim, es pot calcular l'esforç de tracció capaç de suportar el cargol. En cap cas l'esforç que te que suportar el cargol en l'aplicació serà superior al d'aquest càlcul.

$$T_{tr}\ [N] = 0{,}8 \cdot \sigma_e \cdot A_n = 0{,}8 \cdot 640 \cdot 324{,}29 = \mathbf{166.037{,}9\ N}$$

2.1.8. Resultats obtinguts dels càlculs a tracció dels diferents cargols.

S'ha recollit en una taula els resultats dels càlculs realitzats.

Tipus de cargol	Esforç de tracció màxim
M12 x 1	46.643,20 N
M14 x 2	53.611,52 N
M16 x 2	73.789,44 N
M20 x 2,5	115.258,71 N
M24 x 3	166.037,90 N

Taula 2.16. Resum dels esforços a tracció que poden suportar diferents cargols.

2.1.9. Càlcul de l'angle màxim de torsió de l'estructura.

Càlcul de l'angle girat en el tub estructural, a causa del parell màxim a transmetre (2000 Nm).

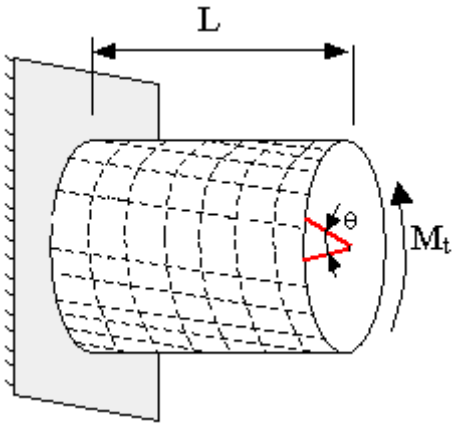


Figura 2.81. Representació en el esquema, de les variables de càlcul.

Angle per unitat de longitud.

$$\theta[rad] = \frac{M_T}{G \cdot J} \quad \text{(Equació 2.10)}$$

On:

M_T = Moment de torsió aplicat [N·cm]

G= Mòdul de rigidesa del material [$^{N}/_{cm^2}$]

J= Moment d'inèrcia [cm^4]

D'on es pot deduir l'angle total girat:

$$\theta_{total}[rad] = \frac{M_T}{G \cdot J} \cdot L \quad \text{(Equació 2.11)}$$

On:

M_T = Moment de torsió aplicat [N·cm]

G= Mòdul de rigidesa del material [$^{N}/_{cm^2}$]

J= Moment d'inèrcia [cm^4]

L = Longitud total [cm]

A partir de l'equació 2.11, es pot trobar el valor de l'angle girat.

On:

$M_T = 2 \cdot 10^5$ N·cm

G= $8{,}1 \cdot 10^6 \, {}^{N}/_{cm^2}$

J= 562 cm^4

L= 115 cm

Les característiques dels tubs estructurals es poden consultar en l'annex 2.3

$$\theta_{total}[rad] = \frac{M_T}{G \cdot J} \cdot L = 3{,}1 \cdot 10^{-3} \, rad.$$

En aquest cas, l'angle girat es $3{,}1 \cdot 10^{-3}$ rad, però en el cas real, la situació es menys critica que la plantejada en aquests càlculs, ja que tota la bancada soldada dona molta més rigidesa al conjunt, també s'ha soldat una xapa a la part inferior que uneix els dos tubs estructurals centrals, d'aquesta manera es converteix en un perfil tancat, amb lo qual, es guanya molta rigidesa.

També la xapa que serveix per collar les màquines, realitza la funció d'unir tots els tubs estructurals , de manera que encara rigiditza més l'estructura.

2.1.10. Càlculs de la vida útil dels arbres de transmissió

A partir dels requisits tècnics que ha de complir l'arbre de transmissió, s'ha determinat la vida útil d'aquest, en hores.

<u>Càlcul de l'arbre de transmissió, quan s'utilitza motor i reductor</u>

- M = 2.000 Nm
- Model d'arbre de transmissió: 0.117
- Velocitat angular màxima: 540 min^{-1}
- S'ha determinat que l'angle màxim de treball, de l'arbre de transmissió es 5º.

Figura 2.82. Gràfica que s'utilitza per realitzar el càlcul de la vida útil de l'arbre de transmissió.

La línia de color vermell es un exemple que proporciona el fabricant, per poder entendre i analitzar la gràfica.

La línia de color verd, es la línia que s'ha realitzat per calcular la vida útil de l'arbre de transmissió escollit.

El resultat d'aquest càlcul és de **25.000 hores útils** de l'arbre.

Càlcul de l'arbre de transmissió, quan s'utilitza únicament el motor

L'altre cas, es el de l'arbre de transmissió quan només s'utilitza el motor, amb un parell màxim de transmissió de 678 Nm.

Els requisits d'aquest cas, són els exposats a continuació.

- M = 678 Nm
- Model d'arbre de transmissió: 0.113
- Velocitat angular màxima: 2.738 min^{-1}
- S'ha determinat que l'angle màxim de treball, de l'arbre de transmissió es 5º.

Figura 2.83. Gràfica que s'utilitza per realitzar el càlcul de la vida útil de l'arbre de transmissió.

La línia de color vermell es un exemple que proporciona el fabricant, per poder entendre i analitzar la gràfica.

La línia de color verd, es la línia que s'ha realitzat per calcular la vida útil de l'arbre de transmissió escollit.

El resultat d'aquest càlcul es de **4.000 hores** útils de l'arbre.

2.1.11. Càlcul del centre de gravetat del banc d'assaig.

Es realitza el càlcul del centre de gravetat en l'eix horitzontal, per saber la posició on es té que col·locar les argolles, per quan s'ha de traslladar de posició el banc.

En aquest cas només es col·locaran quatre argolles , amb una rosca de M-14 i una capacitat de carrega de 490 kg cada una. Per realitzar aquest càlcul s'ha realitzat simplificacions dels components, ja que només es una dada orientativa.

Primer de tot es calcula el centre de gravetat de la bancada soldada utilitzant el programa de disseny CAD -3D (Pro-engineer).

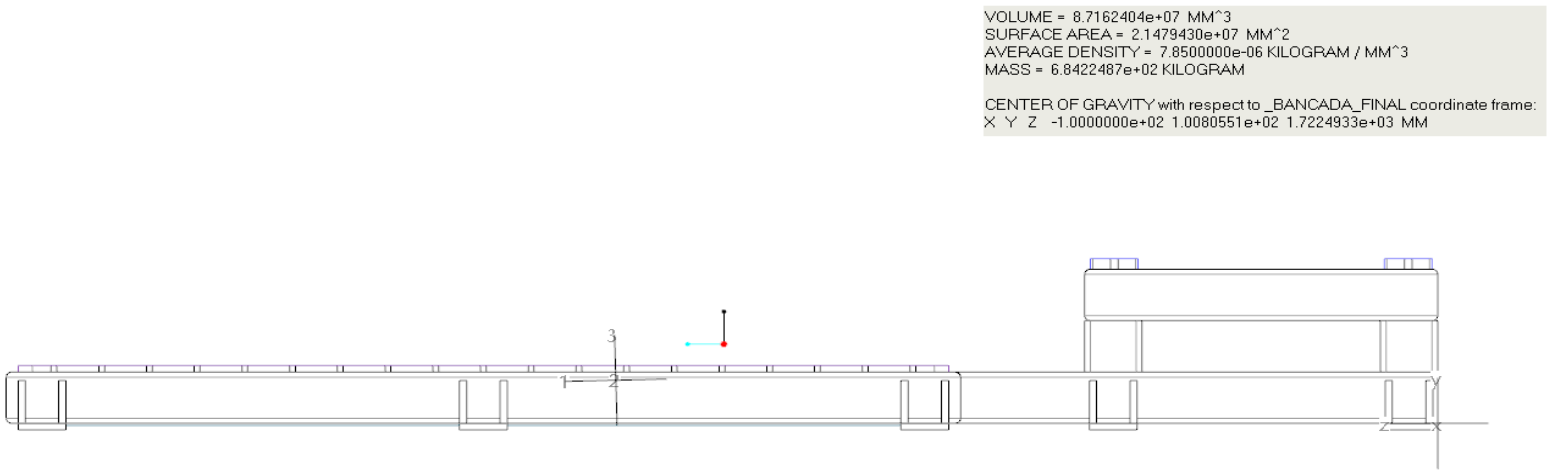


Figura 2.84. Càlcul del centre de gravetat de la bancada, amb el programa Pro-engineer.

Com es pot observar en la figura 2.84, el centre de gravetat en l'eix Z està ubicat a 1.722,5 mm de l'origen.

A continuació es calcula el centre de gravetat del motor.

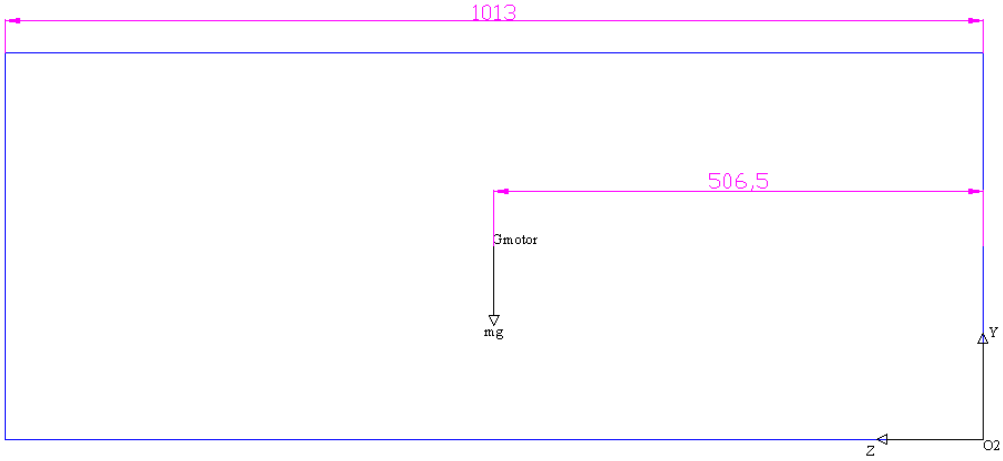


Figura 2.85. Càlcul del centre de gravetat del motor.

Es pot observar que el centre de gravetat en l'eix Z del motor, està ubicat a 506,5 mm de l'origen O2.

Després es calcula el centre de gravetat de la refrigeració del motor.

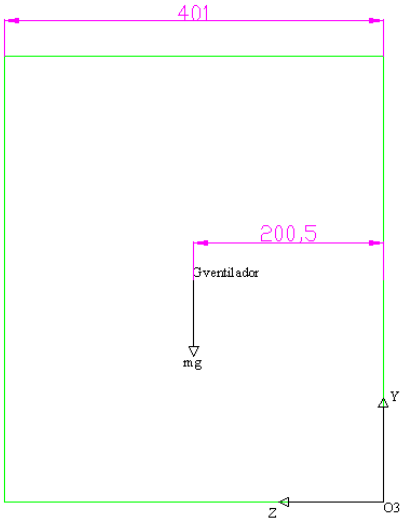


Figura 2.86. Càlcul del centre de gravetat del refrigerador del motor.

En aquest cas el centre de gravetat del reductor respecte l'eix Z, està ubicat a una longitud de 200,5 mm de l'origen O3.

Després s'ha calculat el centre de gravetat del reductor.

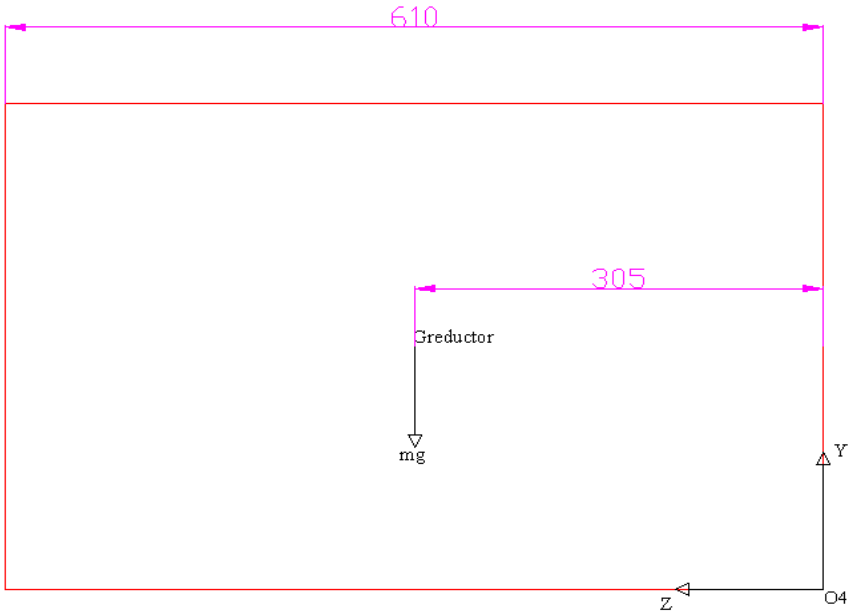


Figura 2.87. Càlcul del centre de gravetat del reductor.

El centre de gravetat del reductor en l'eix Z, està ubicat a una longitud de 305 mm amb respecte l'origen O4.

Un cop arribat amb aquest punt, el que s'ha de realitzar es el càlcul del centre de gravetat en l'eix Z, respecte un sol origen, concretament l'origen O.

Per realitzar aquest càlcul s'ha d'utilitzar l'equació:

$$Z_G[mm] = \frac{\sum m_i \cdot L_{gi}}{\sum m_i}$$

On:

Z_G: distancia del centre de gravetat de tot el conjunt [mm].

m_i : massa dels diferents components [kg].

L_{gi} : Distancia en l'eix Z del centre de gravetat dels diferents components a l'origen O.

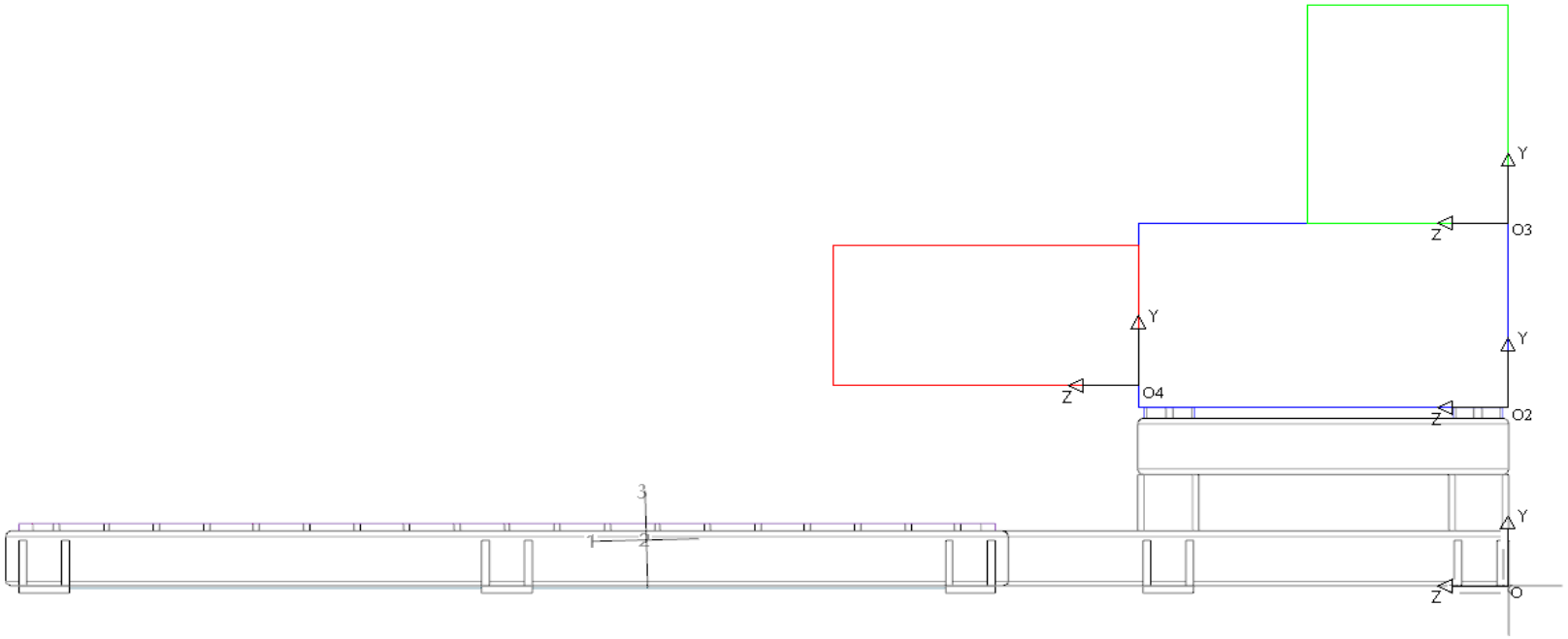


Figura 2.88. Càlcul del centre de gravetat del muntatge final.

Un cop arribat amb aquest punt, es calcula el centre de gravetat del conjunt utilitzant l'equació .

$$Z_G[mm] = \frac{\sum m_i \cdot L_{gi}}{\sum m_i} = \frac{684{,}22 \cdot 1.722 + 500 \cdot 506{,}5 + 145 \cdot 200{,}5 + 1.318 \cdot 190}{684{,}22 + 500 + 145 + 190} = 1.126{,}2\ m$$

El centre de gravetat del conjunt respecte l'eix Z es troba a una distancia positiva amb respecte l'origen O de **1.126,2 mm**.

2.2. Diagrames i taules

2.2.1. Corbes dels frens

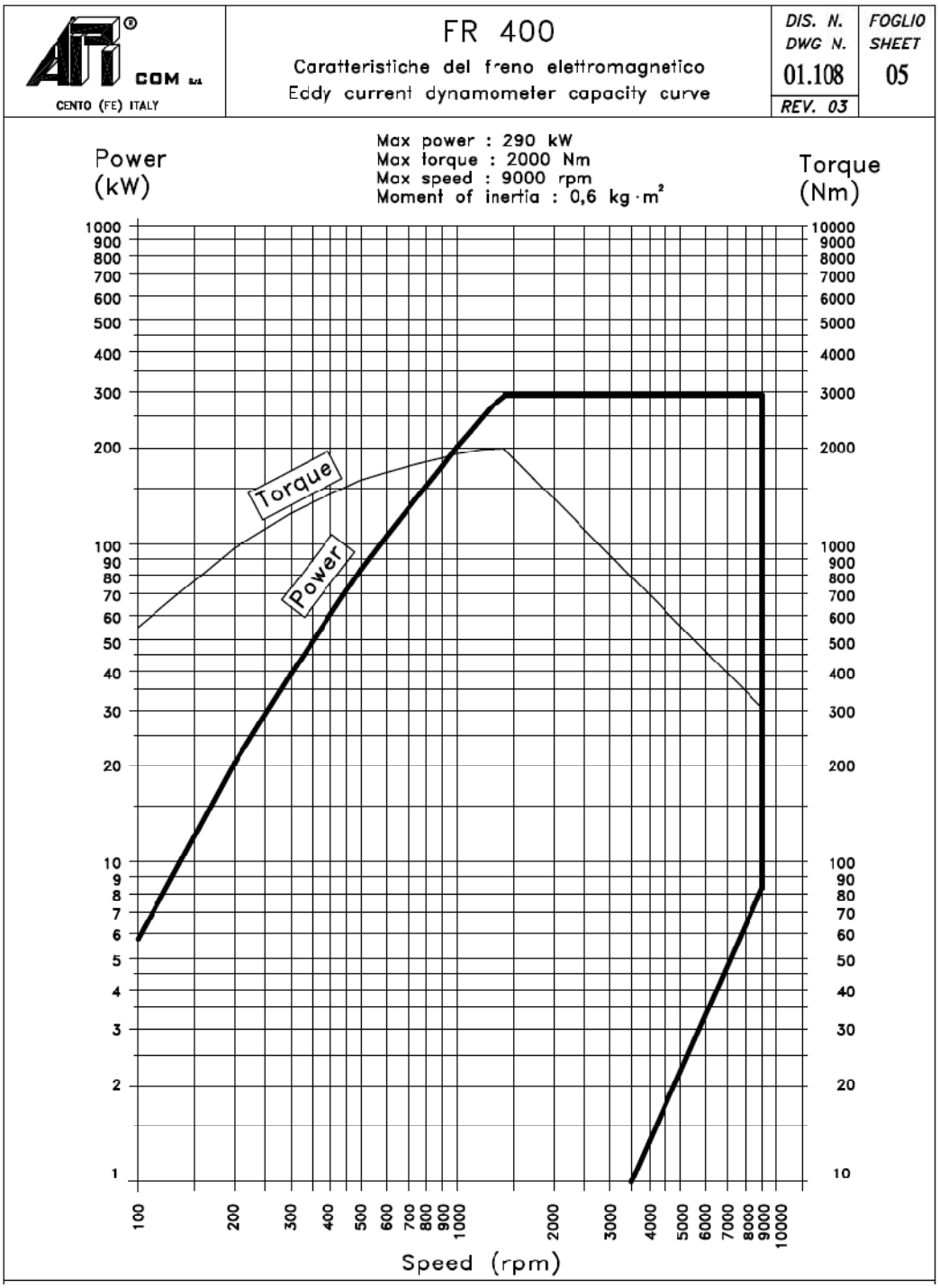


Figura 2.84. Corbes de parell i potència del fre Api – Com FR 400.

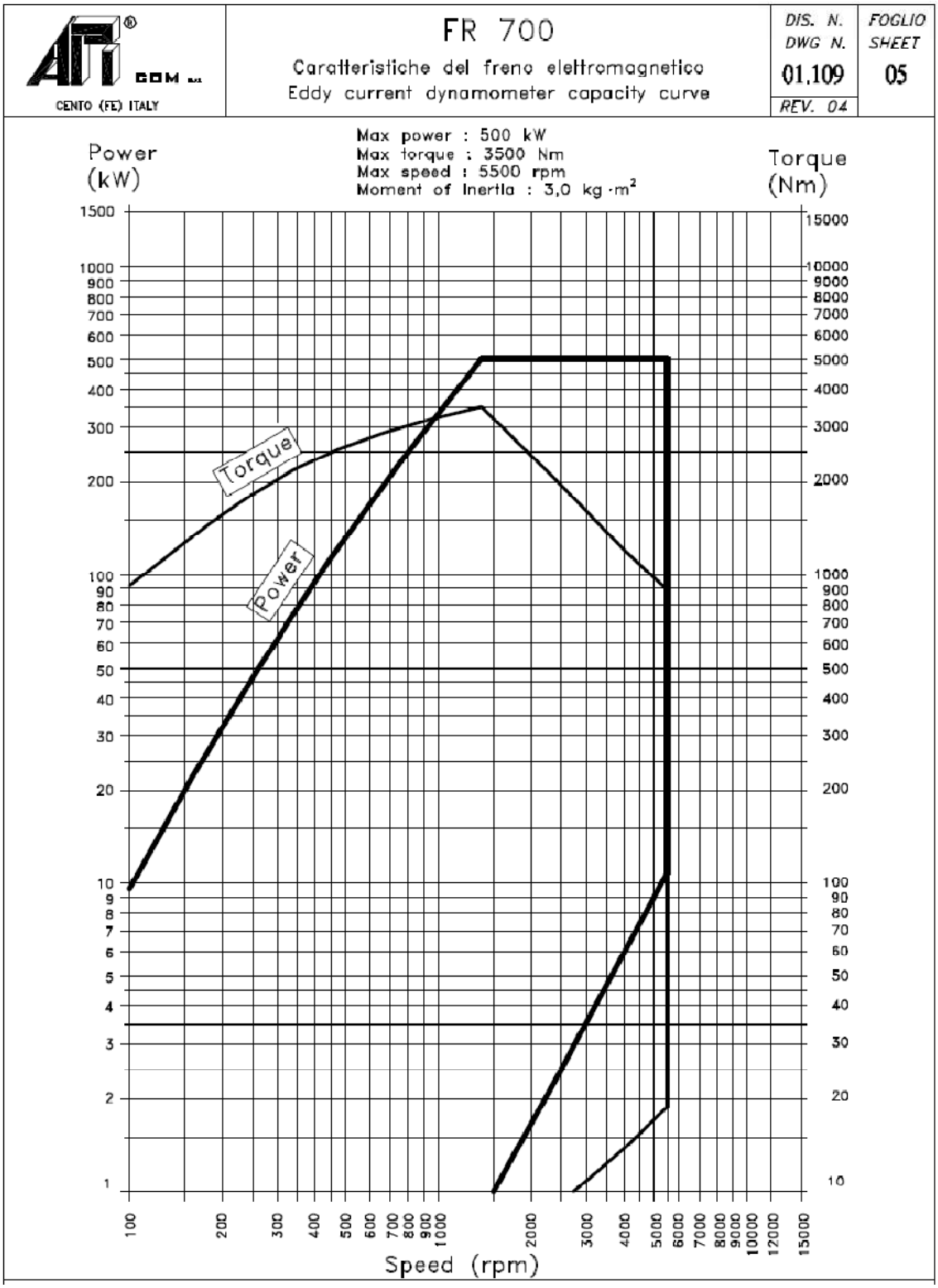


Figura 2.85. Corbes de parell i potència del fre Api – Com FR 700.

2.2.2. Taules de mesura dels sensors de parell

Rang de mesura i de precisió del sensor de parell TF 212.

Parell a mesurar [Nm]	Precisió del sensor de mesurament [200 Nm] en % del fons d'escala	Error de la lectura en Nm		Error de la lectura en %
Nm	% del fons d'escala	Valor Min	Valor Max	%
1	0,1	0,8	1,2	20
5	0,1	4,8	5,2	4
10	0,1	9,8	10,2	2
15	0,1	14,8	15,2	1,33
25	0,1	24,8	25,2	0,8
50	0,1	49,8	50,2	0,4
75	0,1	74,8	75,2	0,27
100	0,1	99,8	100,2	0,2
125	0,1	124,8	125,2	0,16
150	0,1	149,8	150,2	0,13
175	0,1	174,8	175,2	0,11
200	0,1	199,8	200,2	0,1

Taula 2.17. Error de la lectura del sensor de parell MAGTROL TF 212.

Rang de mesura i de precisió del sensor de parell TF 215.

Parell a mesurar [Nm]	Precisió del sensor de mesurament [2000 Nm] en % del fons d'escala	Error de la lectura en Nm		Error de la lectura en %
Nm	% del fons d'escala	Valor Min	Valor Max	%
1	0,1	0	3	200
5	0,1	3	7	40
10	0,1	8	12	20
15	0,1	13	17	13,33
25	0,1	23	27	8
50	0,1	48	52	4
75	0,1	73	77	2,67
100	0,1	98	102	2
125	0,1	123	127	1,6
150	0,1	148	152	1,33
175	0,1	173	177	1,14
200	0,1	198	202	1
250	0,1	248	252	0,8
300	0,1	298	302	0,67
350	0,1	348	352	0,57
400	0,1	398	402	0,5
450	0,1	448	452	0,44
500	0,1	498	502	0,4
550	0,1	548	552	0,36
600	0,1	598	602	0,33
650	0,1	648	652	0,31
700	0,1	698	702	0,29
800	0,1	798	802	0,25
900	0,1	898	902	0,22
1000	0,1	998	1002	0,2
1100	0,1	1098	1102	0,18

Taula 2.18. error de la lectura del sensor de parell MAGTROL TF 215. (Part 1)

Parell a mesurar [Nm]	Precisió del sensor de mesurament [2000 Nm] en % del fons d'escala	Error de la lectura en Nm		Error de la lectura en %
Nm	% del fons d'escala	Valor Min	Valor Max	%
1200	0,1	1198	1202	0,17
1300	0,1	1298	1302	0,15
1400	0,1	1398	1402	0,14
1500	0,1	1498	1502	0,13
1600	0,1	1598	1602	0,13
1700	0,1	1698	1702	0,12
1800	0,1	1798	1802	0,11
1900	0,1	1898	1902	0,11
2000	0,1	1998	2002	0,1

Taula 2.18. error de la lectura del sensor de parell MAGTROL TF 215. (Part 2)

2.3. Característiques dels components del banc

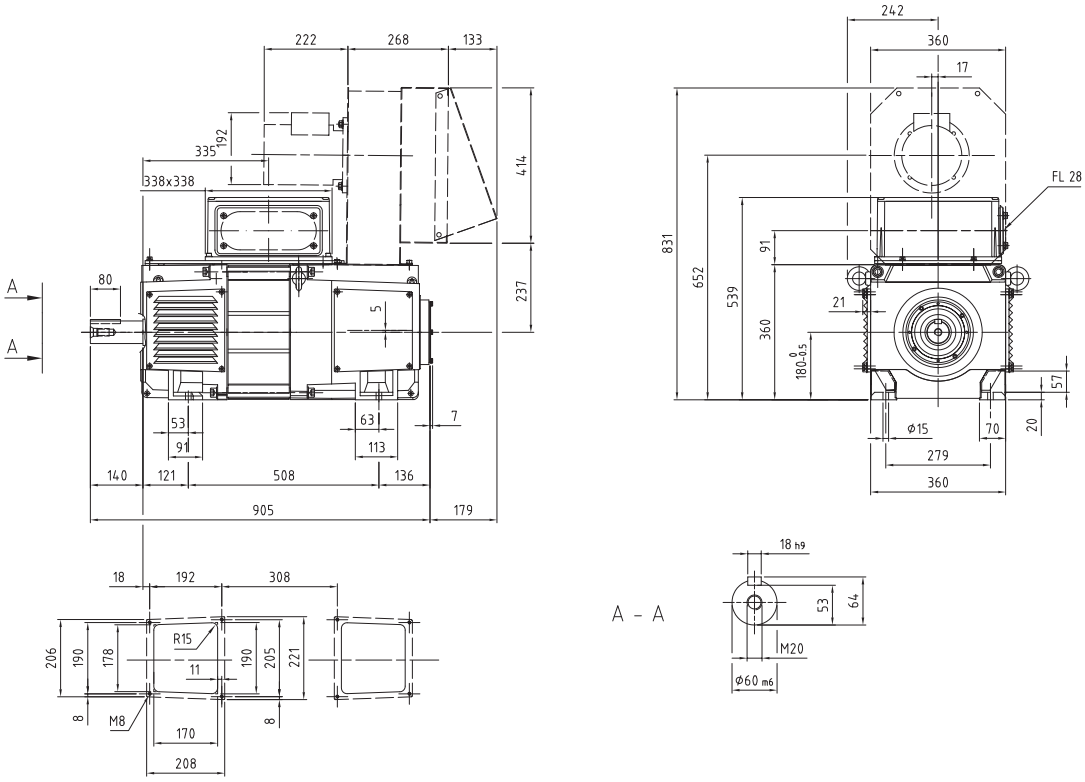
Dimensions in mm
Dimensions en mm
Maße in mm

IC 06: IP 23
IC 17: IP 23
IC 37: IP 54, IP 55

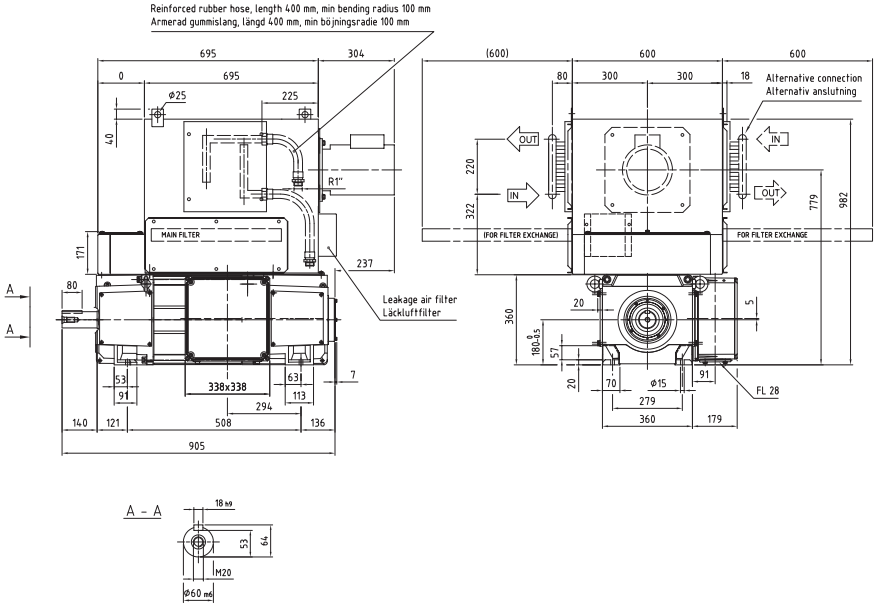
NB! No access to opening at D-end on the side where the terminal box is located. (The terminal bottom covers the opening at D-end)

N.B. ! Pas d'accès à l'ouverture côté entraînement sur le côté où se trouve la boîte à bornes (la boîte à bornes masque l'ouverture côté entraînement).

Achtung! Kein Zugang zur Öffnung am D–Ende auf der Seite des Klemmenkastens. (Die Öffnung am D–Ende wird durch den Boden des Klemmenkastens verdeckt.)



IC 86 W: IP 54 / IP 55



General data Caractéristiques générales Generelle Daten	I_{max}/I_N = 180 %	J = 0.5 kgm²	P_f = 1200 W	p_Δ = 950 Pa	U_{fN} = 110-440 V
	T_{max}/T_N = 160 %	n_0 = 10 min⁻¹	V_{diss} = 0.25 m³/s	W = 310 kg	

U_N (V) [$U_N > 1,1 \times U_{vN}$ 1)]									P (kW)	I_N (A)	T (Nm)	η (%)	n_2 (min⁻¹)	n_3 / n_4 (min⁻¹)		Cat. No. No de catalogue Bestellnummer
400	420	440	470	520	550	620	750	815			n_{max} (min⁻¹)		3800	4500		
			n (min⁻¹)													
819									29	89	339	77,8	2456	2456	R_a = 705 mΩ L_a = 9.05 mH U_{fN}/U_{vN} = A	3BSM003050- ••• ••• = BYA 2) ••• = BYB 3) ••• = BYC 4)
	868								31	89	339	78,7	2541	2603		
		916							33	89	339	79,5	2541	2749		
			990						35	89	339	80,6	2543	2969		
				1113					39	89	337	82,1	2554	3320		
					1186				42	88	336	82,9	2560	3328		
						1358			47	88	334	84,5	2576	3348		
							1677		58	87	330	86,5	2605	3386		
								1837	63	86	327	87,3	2619	3405		
1071									41	121	364	81,4	2834	3213	R_a = 427 mΩ L_a = 4,72 mH U_{fN}/U_{vN} = A	3BSM003050- ••• ••• = BZA 2) ••• = BZB 3) ••• = BZC 4)
	1133								43	121	364	82,1	2834	3398		
		1195							46	121	364	82,8	2834	3584		
			1288						49	121	364	83,7	2836	3686		
				1442					55	121	363	84,9	2839	3691		
					1535				58	121	363	85,5	2841	3694		
						1752			66	120	362	86,8	2846	3700		
							2154		81	120	360	88,4	2856	3713		
1396									51	146	349	84,8	2378	3092	R_a = 265 mΩ L_a = 3,42 mH U_{fN}/U_{vN} = A	3BSM003050- ••• ••• = CAA 2) ••• = CAB 3) ••• = CAC 4)
	1474								54	146	349	85,4	2378	3092		
		1551							57	146	349	85,9	2378	3092		
			1668						61	146	348	86,5	2381	3095		
				1863					68	146	347	87,5	2386	3102		
					1979				72	145	347	88,0	2389	3106		
1785									62	175	331	86,3	3800	4500	R_a = 186 mΩ L_a = 2,37 mH U_{fN}/U_{vN} = B	3BSM003050- ••• ••• = CBA 2) ••• = CBB 3) ••• = CBC 4)
	1883								65	175	331	86,8	3800	4500		
		1980							69	175	331	87,2	3800	4500		
			2127						74	175	330	87,7	3800	4500		
				2372					82	174	329	88,5	3800	4500		
					2518				87	174	329	88,9	3800	4500		
						2861			98	174	327	89,6	3800	4500		
							3497		119	173	324	90,6	3800	4500		
								3815	129	172	323	90,9	3800	4500		
2292									81	226	340	88,4	3800	4500	R_a = 112 mΩ L_a = 1,22 mH U_{fN}/U_{vN} = B	3BSM003050- ••• ••• = CCA 2) ••• = CBB 3) ••• = CBC 4)
	2415								86	226	339	88,7	3800	4500		
		2538							90	226	339	89,1	3800	4500		
			2722						96	225	338	89,5	3800	4500		
				3030					107	224	336	90,0	3800	4500		
					3215				113	224	335	90,3	3800	4500		
						3646			127	223	333	90,9	3800	4500		
2912									87	237	284	89,9	3800	4500	R_a = 69 mΩ L_a = 0,89 mH U_{fN}/U_{vN} = B	3BSM003050- ••• ••• = CDA 2) ••• = CDB 3)
	3065								91	236	284	90,1	3800	4500		
		3218							95	236	283	90,3	3800	4500		
			3447						102	235	282	90,6	3800	4500		
				3829					112	234	280	90,9	3800	4500		
					4059				119	233	279	91,1	3800	4500		
3696									103	281	266	90,1	3800	4500	R_a = 45 mΩ L_a = 0,5 mH U_{fN}/U_{vN} = C	3BSM003050- ••• ••• = CEA 2) ••• = CEB 3) ••• = CEC 4)
	3888								108	281	266	90,3	3800	4500		
		4080							113	281	265	90,4	3800	4500		

Explanation of motor data cross-references, see page 70/
Explication des références croisées des caractéristiques moteur, voir page 70/
Erklärung der Motorreferenzwerte, siehe Seite 70

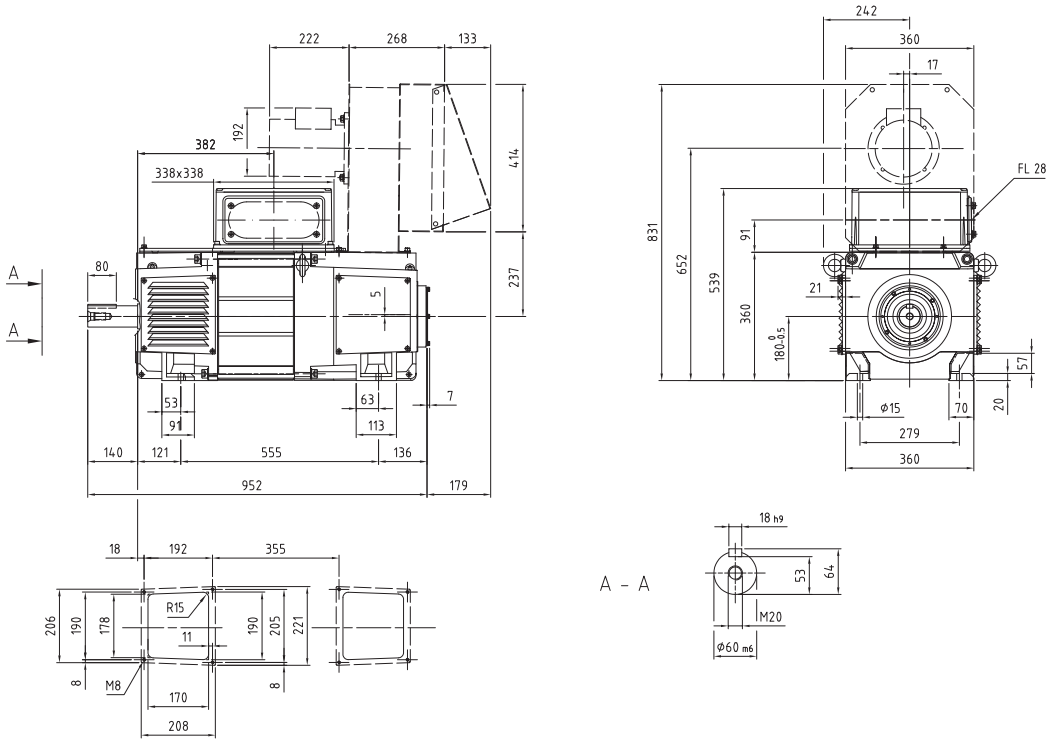
Dimensions in mm
Dimensions en mm
Maße in mm

IC 06: IP 23
IC 17: IP 23
IC 37: IP 54, IP 55

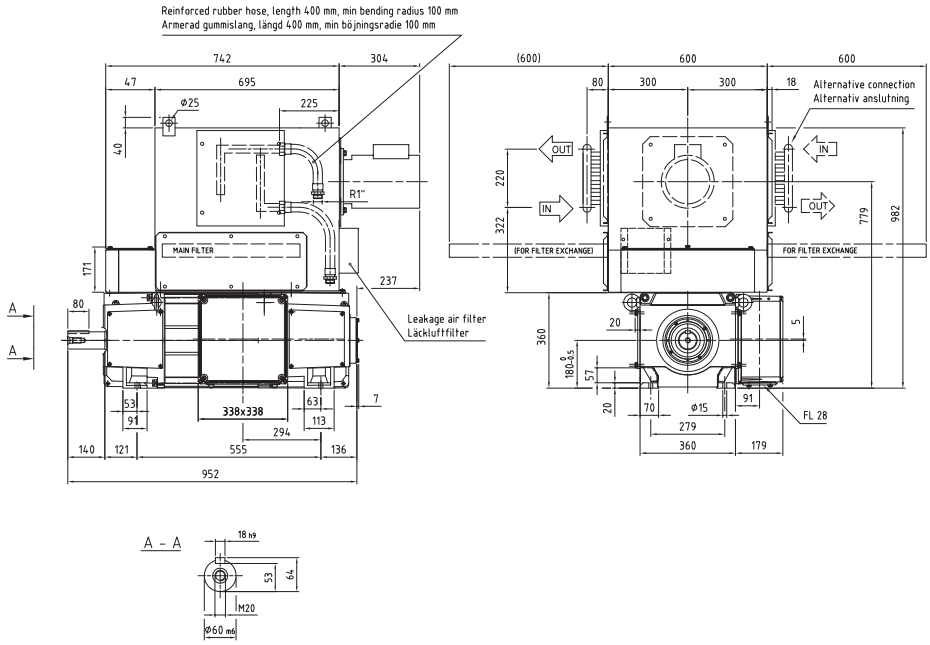
NB! No access to opening at D-end on the side where the terminal box is located. (The terminal bottom covers the opening at D-end)

N.B. ! Pas d'accès à l'ouverture côté entraînement sur le côté où se trouve la boîte à bornes (la boîte à bornes masque l'ouverture côté entraînement).

Achtung! Kein Zugang zur Öffnung am D–Ende auf der Seite des Klemmenkastens. (Die Öffnung am D–Ende wird durch den Boden des Klemmenkastens verdeckt.)



IC 86 W: IP 54 / IP 55



374 – 471 Nm
DMI 180E

Technical data

Caractéristiques techniques

Technische Daten

General data
Caractéristiques générales
Generelle Daten

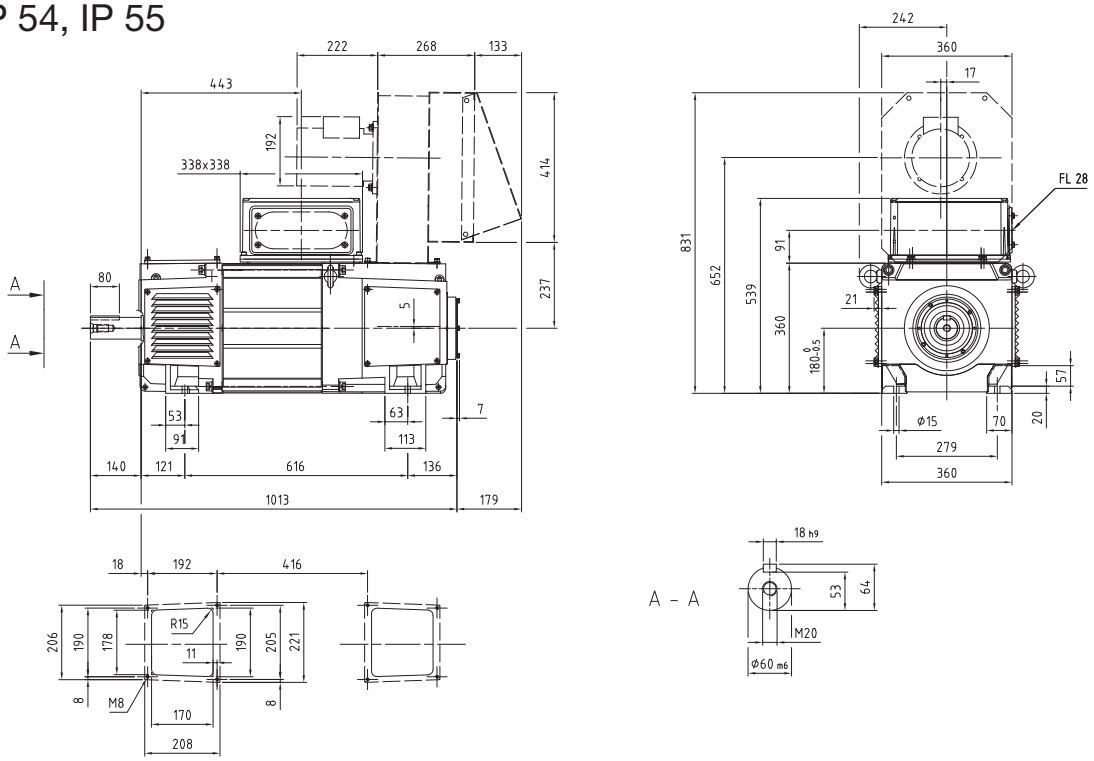
$I_{max}/I_N = 180$ %
$T_{max}/T_N = 160$ %
$J = 0.6$ kgm^2
$n_0 = 10$ min^{-1}
$P_f = 1600$ W
$V_{diss} = 0.25$ m^3/s
$p_\Delta = 1050$ Pa
$W = 350$ kg
$U_{fN} = 110\text{-}440$ V

U_N (V) [$U_N > 1,1 \times U_{vN}$ 1)]											n_{max} (min^{-1})		3800	4500		
400	420	440	470	520	550	620	750	815	P	I_N	T	η	n_2	n_3/n_4		Cat. No. No de catalogue Bestellnummer
n (min^{-1})									(kW)	(A)	(Nm)	(%)	(min^{-1})	(min^{-1})		
617									**28**	88	435	75,6	1738	1851	$R_a = 803$ mΩ $L_a = 10.71$ mH U_{fN}/U_{vN} = D	**3BSM003050-•••** ••• = **BPA** 2) ••• = **BPB** 3) ••• = **BPC** 4)
	655								**30**	88	435	76,6	1738	1964		
		693							**32**	88	435	77,5	1739	2078		
			749						**34**	88	435	78,7	1740	2247		
				844					**38**	88	434	80,4	1741	2263		
					900				**41**	88	434	81,3	1742	2264		
						1032			**47**	88	433	83,0	1744	2267		
							1278		**58**	88	432	85,4	1747	2271		
								1400	**63**	88	431	86,2	1749	2273		
810									**40**	121	471	79,6	2336	2429	$R_a = 485$ mΩ $L_a = 5{,}63$ mH U_{fN}/U_{vN} = D	**3BSM003050-•••** ••• = **BQA** 2) ••• = **BQB** 3) ••• = **BQC** 4)
	858								**42**	120	470	80,5	2341	2573		
		906							**44**	120	469	81,2	2347	2717		
			978						**48**	120	467	82,2	2355	2933		
				1098					**53**	119	464	83,6	2368	3079		
					1170				**57**	119	463	84,4	2377	3089		
						1337			**64**	118	458	85,8	2396	3115		
							1649		**78**	116	451	87,7	2433	3162		
1064									**51**	147	455	83,9	1955	2541	$R_a = 302$ mΩ $L_a = 4.04$ mH U_{fN}/U_{vN} = D	**3BSM003050-•••** ••• = **BRA** 2) ••• = **BRB** 3) ••• = **BRC** 4)
	1125								**54**	147	455	84,5	1955	2541		
		1185							**56**	147	455	85,0	1955	2541		
			1275						**61**	147	455	85,8	1955	2541		
				1426					**68**	147	454	86,8	1955	2541		
					1516				**72**	147	454	87,4	1955	2541		
1361									**62**	176	433	85,2	3800	4083	$R_a = 210$ mΩ $L_a = 2{,}79$ mH U_{fN}/U_{vN} = B	**3BSM003050-•••** ••• = **BSA** 2) ••• = **BSB** 3) ••• = **BSC** 4)
	1437								**65**	176	433	85,8	3800	4310		
		1512							**68**	176	432	86,2	3800	4500		
			1625						**74**	176	432	86,9	3800	4500		
				1814					**82**	176	431	87,7	3800	4500		
					1927				**87**	175	430	88,2	3800	4500		
						2191			**98**	175	429	89,0	3800	4500		
							2682		**120**	175	426	90,1	3800	4500		
								2928	**130**	174	425	90,5	3800	4500		
1758									**83**	234	454	87,5	3800	4500	$R_a = 126$ mΩ $L_a = 1{,}45$ mH U_{fN}/U_{vN} = B	**3BSM003050-•••** ••• = **BTA** 2) ••• = **BTB** 3) ••• = **BTC** 4)
	1853								**88**	233	453	87,9	3800	4500		
		1949							**92**	233	452	88,3	3800	4500		
			2092						**99**	233	451	88,8	3800	4500		
				2331					**110**	232	450	89,5	3800	4500		
					2474				**116**	232	449	89,8	3800	4500		
						2808			**131**	231	446	90,5	3800	4500		
2250									**96**	264	408	89,4	3800	4500	$R_a = 78$ mΩ $L_a = 1{,}04$ mH U_{fN}/U_{vN} = B	**3BSM003050-•••** ••• = **BUA** 2) ••• = **BUB** 3) ••• = **BUC** 4)
	2369								**101**	264	408	89,7	3800	4500		
		2489							**106**	264	407	89,9	3800	4500		
			2668						**114**	263	406	90,2	3800	4500		
				2966					**126**	263	405	90,7	3800	4500		
					3145				**133**	262	403	90,9	3800	4500		
2859									**113**	310	379	90,0	3800	4500	$R_a = 51$ mΩ $L_a = 0{,}59$ mH U_{fN}/U_{vN} = C	**3BSM003050-•••** ••• = **BVA** 2) ••• = **BVB** 3) ••• = **BVC** 4)
	3009								**119**	310	378	90,2	3800	4500		
		3158							**125**	310	378	90,4	3800	4500		
			3383						**134**	310	378	90,6	3800	4500		
				3757					**148**	309	375	90,8	3800	4500		
					3982				**156**	308	374	91,0	3800	4500		

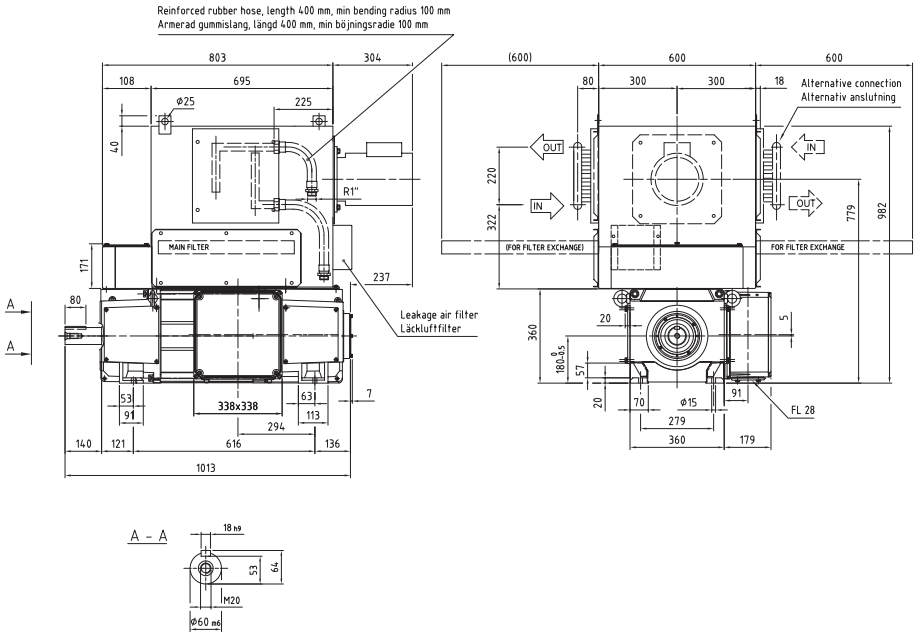
Explanation of motor data cross-references, see page 70/
Explication des références croisées des caractéristiques moteur, voir page 70/
Erklärung der Motorreferenzwerte, siehe Seite 70

Dimensions in mm
Dimensions en mm
Maße in mm

IC 06: IP 23
IC 17: IP 23
IC 37: IP 54, IP 55



IC 86 W: IP 54 / IP 55



425 – 606 Nm

DMI 180H

Technical data

Caractéristiques techniques

Technische Daten

General data
Caractéristiques générales
Generelle Daten

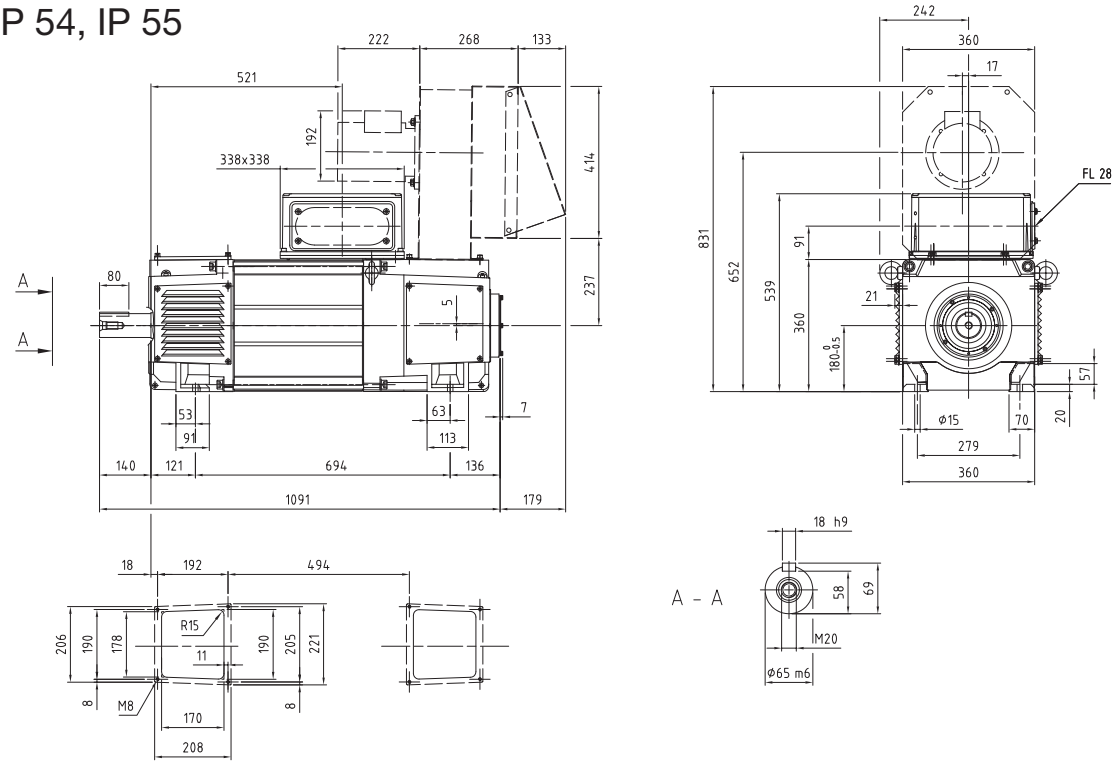
I_{max}/I_N = 180 %
T_{max}/T_N = 160 %
J = 0.7 kgm²
n_0 = 10 min⁻¹
P_f = 1750 W
V_{diss} = 0.25 m³/s
p_Δ = 1150 Pa
W = 400 kg
U_{fN} = 110-440 V

U_N (V) [$U_N > 1,1 \times U_{vN}$ 1)]											n_{max} (min⁻¹)		3800	4500		
400	420	440	470	520	550	620	750	815	P	I_N	T	η	n_2	n_3 / n_4		Cat. No. No de catalogue Bestellnummer
n (min⁻¹)									(kW)	(A)	(Nm)	(%)	(min⁻¹)	(min⁻¹)		
461									**27**	88	563	72,6	1383	1383	R_a = 932 mΩ L_a = 12,82 mH U_{fN}/U_{vN} = F	**3BSM003050- •••** **••• = BHA** 2) **••• = BHB** 3) **••• = BHC** 4)
	490								**29**	88	563	73,8	1470	1470		
		519							**31**	88	563	74,8	1558	1558		
			563						**33**	88	563	76,2	1689	1689		
				636					**37**	88	562	78,1	1747	1908		
					680				**40**	88	562	79,1	1747	2039		
						782			**46**	88	561	81,1	1749	2273		
							972		**57**	88	560	83,8	1751	2276		
								1067	**62**	88	559	84,8	1752	2278		
612									**39**	120	606	77,3	1835	1835	R_a = 560 mΩ L_a = 6,8 mH U_{fN}/U_{vN} = F	**3BSM003050- •••** **••• = BIA** 2) **••• = BIB** 3) **••• = BIC** 4)
	648								**41**	120	606	78,2	1916	1945		
		685							**43**	120	606	79,0	1916	2056		
			741						**47**	120	605	80,2	1917	2223		
				834					**53**	120	604	81,8	1919	2494		
					889				**56**	120	604	82,6	1920	2496		
						1019			**64**	120	603	84,2	1922	2499		
							1259		**79**	119	601	86,4	1927	2506		
809									**49**	146	584	81,6	1605	2087	R_a = 349 mΩ L_a = 4,86 mH U_{fN}/U_{vN} = F	**3BSM003050- •••** **••• = BJA** 2) **••• = BJB** 3) **••• = BJC** 4)
	855								**52**	146	584	82,3	1605	2087		
		902							**55**	146	584	83,0	1605	2087		
			972						**59**	146	584	83,9	1605	2087		
				1089					**66**	146	583	85,1	1605	2087		
					1159				**71**	146	583	85,7	1605	2087		
1037									**61**	175	558	83,9	3111	3111	R_a = 243 mΩ L_a = 3,33 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- •••** **••• = BKA** 2) **••• = BKB** 3) **••• = BKC** 4)
	1095								**64**	175	558	84,5	3286	3286		
		1154							**67**	175	558	85,0	3425	3461		
			1241						**72**	175	557	85,8	3427	3724		
				1387					**81**	175	556	86,8	3430	4161		
					1475				**86**	175	555	87,3	3432	4424		
						1679			**97**	174	554	88,3	3437	4468		
							2059		**119**	174	552	89,7	3446	4480		
								2248	**130**	174	551	90,2	3451	4486		
1342									**82**	232	586	86,6	3800	4027	R_a = 145 mΩ L_a = 1,74 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- •••** **••• = BLA** 2) **••• = BLB** 3) **••• = BLC** 4)
	1416								**87**	232	585	87,1	3800	4248		
		1490							**91**	232	585	87,5	3800	4469		
			1600						**98**	232	584	88,1	3800	4500		
				1785					**109**	231	583	88,9	3800	4500		
					1895				**115**	231	582	89,3	3800	4500		
						2154			**131**	231	580	90,0	3800	4500		
1726									**100**	277	553	88,5	3800	4500	R_a = 90 mΩ L_a = 1,25 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- •••** **••• = BMA** 2) **••• = BMB** 3) **••• = BMC** 4)
	1819								**105**	277	553	88,8	3800	4500		
		1911							**111**	277	553	89,2	3800	4500		
			2050						**119**	277	552	89,6	3800	4500		
				2282					**132**	277	552	90,1	3800	4500		
					2423				**137**	272	540	90,4	3800	4500		
2203									**123**	337	533	89,8	3800	4500	R_a = 58 mΩ L_a = 0.71 mH U_{fN}/U_{vN} = C	**3BSM003050- •••** **••• = BNA** 2) **••• = BNB** 3) **••• = BNC** 4)
	2320								**129**	337	533	90,1	3800	4500		
		2436							**135**	336	531	90,3	3800	4500		
			2612						**144**	333	526	90,6	3800	4500		
				2905					**157**	328	517	91,0	3800	4500		
					3080				**165**	325	512	91,2	3800	4500		
						3490			**183**	318	500	91,6	3800	4500		
2974									**143**	389	460	90,8	3800	4500	R_a = 29 mΩ L_a = 0,4 mH U_{fN}/U_{vN} = C	**3BSM003050- •••** **••• = BOA** 2) **••• = BOB** 3) **••• = BOC** 4)
	3129								**151**	389	460	91,0	3800	4500		
		3283							**158**	389	459	91,1	3800	4500		
			3516						**166**	383	451	91,2	3800	4500		
				3904					**178**	370	435	91,3	3800	4500		
					4137				**184**	363	425	91,3	3800	4500		

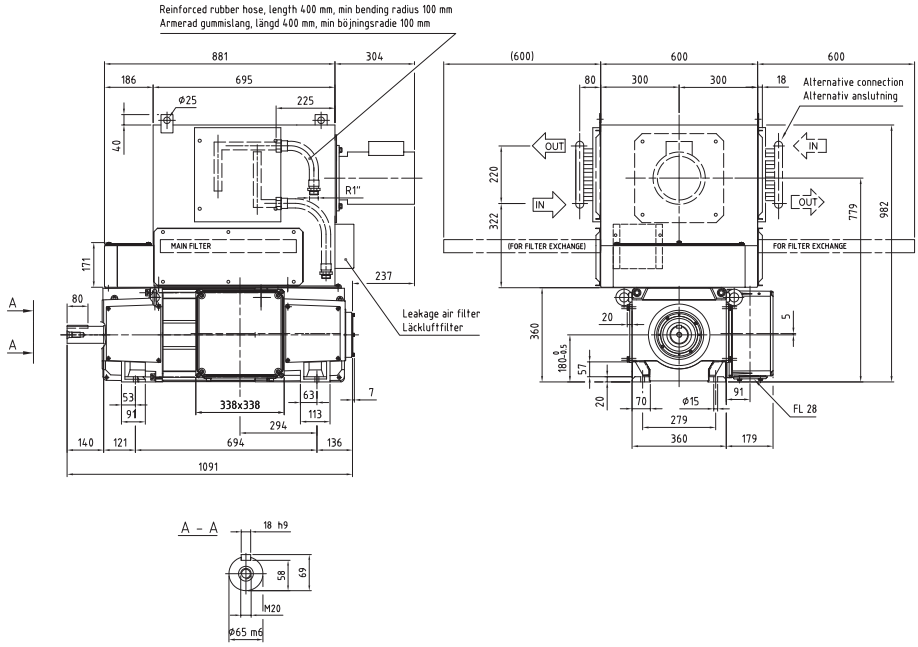
Explanation of motor data cross-references, see page 70/
Explication des références croisées des caractéristiques moteur, voir page 70/
Erklärung der Motorreferenzwerte, siehe Seite 70

Dimensions in mm
Dimensions en mm
Maße in mm

IC 06: IP 23
IC 17: IP 23
IC 37: IP 54, IP 55



IC 86 W: IP 54 / IP 55



587 – 747 Nm

DMI 180M

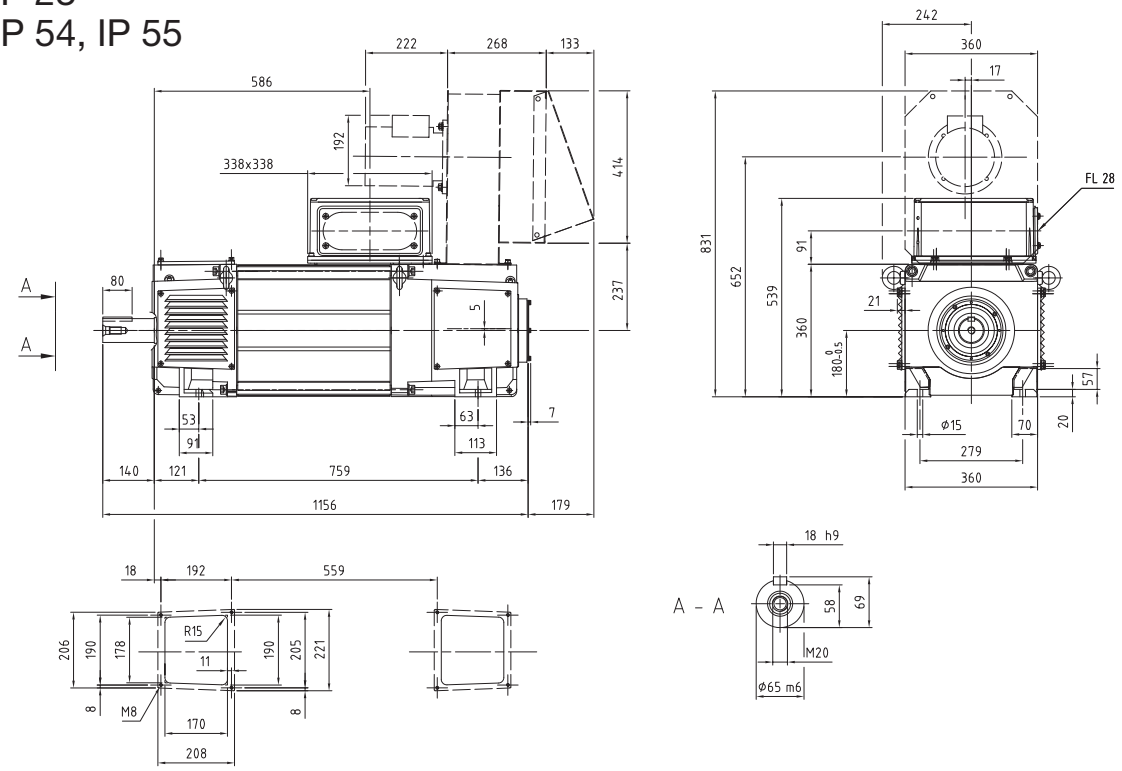
General data Caractéristiques générales Generelle Daten	I_{max}/I_N = 180 % T_{max}/T_N = 160 %	J = 0.8 kgm^2 n_0 = 10 min^{-1}	P_f = 2500 W V_{diss} = 0.25 m^3/s	p_Δ = 1050 Pa W = 460 kg	U_{fN} = 110-440 V

U_N (V) [$U_N > 1,1 \times U_{vN}$ 1)]											n_{max} (min^{-1})		3800	4500		Cat. No.
400	420	440	470	520	550	620	750	815	P (kW)	I_N (A)	T (Nm)	η (%)	n_2 (min^{-1})	n_3 /n_4 (min^{-1})		No de catalogue Bestellnummer
			n (min^{-1})													
461									**36**	114	747	74,6	1382	1382	R_a = 656 mΩ L_a = 8,29 mH U_{fN}/U_{vN} = G	**3BSM003050- •••** ••• = **BAA** 2) ••• = **BAB** 3) ••• = **BAC** 4)
	489								**38**	114	747	75,6	1467	1467		
		518							**40**	114	747	76,6	1553	1553		
			560						**44**	114	746	77,9	1630	1681		
				632					**49**	114	746	79,7	1631	1895		
					675				**53**	114	745	80,6	1631	2024		
						774			**60**	114	745	82,4	1633	2122		
							960		**75**	114	743	84,9	1635	2125		
611									**46**	138	720	79,5	1375	1787	R_a = 410 mΩ L_a = 5,91 mH U_{fN}/U_{vN} = G	**3BSM003050- •••** ••• = **BBA** 2) ••• = **BBB** 3) ••• = **BBC** 4)
	647								**49**	138	719	80,3	1375	1788		
		683							**51**	138	719	81,1	1376	1789		
			737						**55**	138	718	82,1	1377	1789		
				826					**62**	138	717	83,5	1378	1791		
					880				**66**	138	717	84,2	1378	1792		
						1009			**73**	133	689	85,8	1432	1862		
790									**57**	167	690	82,1	2369	2369	R_a = 283 mΩ L_a = 4,00 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- •••** ••• = **BCA** 2) ••• = **BCB** 3) ••• = **BCC** 4)
	835								**60**	167	690	82,8	2504	2504		
		880							**64**	167	690	83,4	2640	2640		
			948						**68**	167	689	84,3	2843	2843		
				1060					**76**	167	688	85,5	2949	3181		
					1128				**81**	167	687	86,1	2951	3384		
						1286			**92**	166	686	87,2	2956	3843		
							1579		**113**	166	683	88,8	2965	3854		
								1725	**123**	166	681	89,4	2969	3860		
1024									**78**	223	730	85,2	3073	3073	R_a = 169 mΩ L_a = 2,12 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- •••** ••• = **BDA** 2) ••• = **BDB** 3) ••• = **BDC** 4)
	1081								**83**	223	730	85,8	3243	3243		
		1138							**87**	223	730	86,2	3293	3414		
			1223						**93**	223	729	86,9	3293	3670		
				1365					**104**	223	729	87,8	3293	4096		
					1451				**111**	223	729	88,3	3293	4281		
						1650			**126**	223	728	89,2	3293	4281		
1324									**96**	267	692	87,5	3612	3973	R_a = 105 mΩ L_a = 1,51 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- •••** ••• = **BEA** 2) ••• = **BEB** 3) ••• = **BEC** 4)
	1396								**101**	267	691	87,9	3614	4188		
		1468							**106**	267	690	88,3	3616	4403		
			1575						**114**	267	689	88,8	3619	4500		
				1754					**126**	266	688	89,4	3624	4500		
					1862				**134**	266	687	89,8	3627	4500		
1696									**125**	345	705	88,9	3800	4500	R_a = 68 mΩ L_a = 0,87 mH U_{fN}/U_{vN} = E	**3BSM003050- •••** ••• = **BFA** 2) ••• = **BFB** 3) ••• = **BFC** 4)
	1787								**132**	345	704	89,3	3800	4500		
		1877							**138**	345	704	89,6	3800	4500		
			2014						**148**	343	700	90,0	3800	4500		
				2242					**162**	338	689	90,5	3800	4500		
					2378				**170**	335	682	90,8	3800	4500		
						2698			**188**	328	667	91,3	3800	4500		
							3290		**220**	316	638	91,9	3800	4500		
								3587	**234**	309	624	92,1	3800	4500		
2293									**153**	415	636	90,6	3800	4500	R_a = 37 mΩ L_a = 0,48 mH U_{fN}/U_{vN} = E	**3BSM003050- •••** ••• = **BGA** 2) ••• = **BGB** 3) ••• = **BGC** 4)
	2413								**161**	415	636	90,8	3800	4500		
		2533							**168**	414	634	90,9	3800	4500		
			2714						**177**	407	622	91,2	3800	4500		
				3016					**190**	394	600	91,4	3800	4500		
					3198				**197**	386	587	91,5	3800	4500		

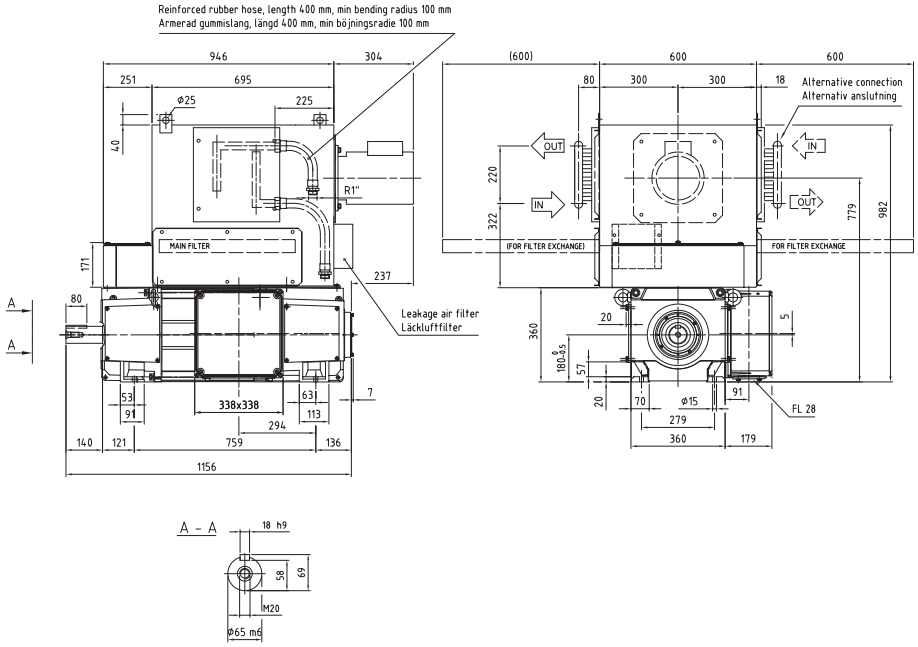
Explanation of motor data cross-references, see page 70/
Explication des références croisées des caractéristiques moteur, voir page 70/
Erklärung der Motorreferenzwerte, siehe Seite 70

Dimensions in mm
Dimensions en mm
Maße in mm

IC 06: IP 23
IC 17: IP 23
IC 37: IP 54, IP 55



IC 86 W: IP 54 / IP 55



703 – 889 Nm
DMI 180P

Technical data

Caractéristiques techniques

Technische Daten

General data
Caractéristiques générales
Generelle Daten

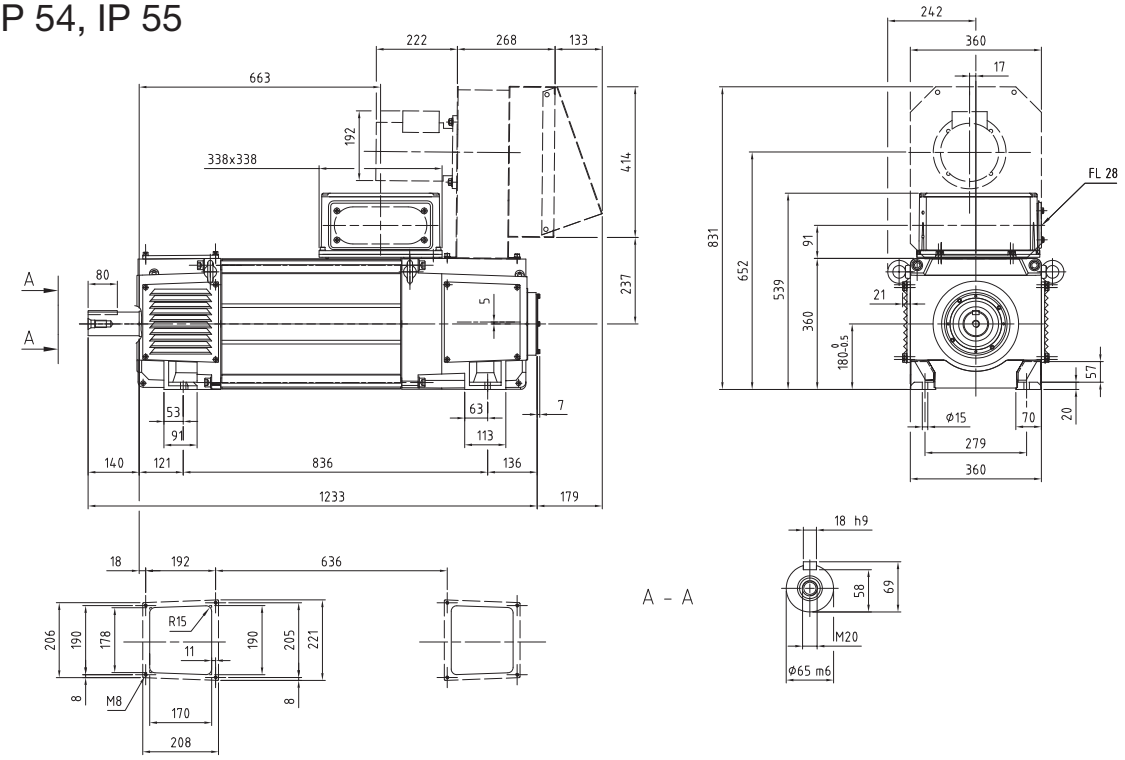
I_{max}/I_N = 180 %
T_{max}/T_N = 160 %
J = 0.9 kgm^2
n_0 = 10 min^{-1}
P_f = 2800 W
V_{diss} = 0.25 m^3/s
p_Δ = 1150 Pa
W = 530 kg
U_{fN} = 110-440 V

U_N (V) [$U_N > 1,1 \times U_{vN}$ [1]]											n_{max} (min^{-1})		3800	4500		Cat. No. No de catalogue Bestellnummer
400	420	440	470	520	550	620	750	815	P	I_N	T	η	n_2	n_3 /n_4		
			n (min^{-1})						(kW)	(A)	(Nm)	(%)	(min^{-1})	(min^{-1})		
376									35	114	889	72,0	1128	1128	R_a = 736 mΩ L_a = 9,53 mH U_{fN}/U_{vN} = G	3BSM003050- ••• ••• = ARA [2] ••• = ARB [3] ••• = ARC [4]
	400								37	114	889	73,2	1200	1200		
		424							39	114	889	74,2	1272	1272		
			460						43	114	889	75,6	1380	1380		
				520					48	114	888	77,7	1408	1560		
					556				52	114	888	78,7	1409	1668		
						640			59	114	887	80,7	1409	1832		
							796		74	114	885	83,5	1411	1835		
504									45	138	854	77,5	1195	1513	R_a = 458 mΩ L_a = 6,76 mH U_{fN}/U_{vN} = G	3BSM003050- ••• ••• = ASA [2] ••• = ASB [3] ••• = ASC [4]
	535								48	138	854	78,4	1195	1554		
		565							50	138	853	79,2	1195	1554		
			610						54	138	853	80,3	1196	1554		
				685					61	138	852	81,9	1196	1555		
					731				65	138	852	82,7	1197	1556		
						840			72	133	819	84,5	1243	1616		
654									56	166	817	80,5	1962	1962	R_a = 317 mΩ L_a = 4,59 mH U_{fN}/U_{vN} = A	3BSM003050- ••• ••• = ATA [2] ••• = ATB [3] ••• = ATC [4]
	692								59	166	816	81,3	2076	2076		
		730							62	166	816	82,0	2190	2190		
			787						67	166	816	82,9	2360	2360		
				882					75	166	815	84,2	2549	2645		
					938				80	166	814	84,9	2550	2815		
						1071			91	166	813	86,2	2552	3213		
							1318		112	165	810	88,0	2556	3323		
								1441	122	165	809	88,7	2558	3326		
853									77	221	861	84,0	2560	2560	R_a = 189 mΩ L_a = 2,42 mH U_{fN}/U_{vN} = A	3BSM003050- ••• ••• = AUA [2] ••• = AUB [3] ••• = AUC [4]
	901								81	221	860	84,6	2704	2704		
		949							85	221	859	85,1	2848	2848		
			1021						92	221	858	85,9	2878	3064		
				1141					102	220	855	86,9	2884	3424		
					1213				108	220	853	87,4	2888	3640		
						1381			123	219	850	88,5	2898	3767		
1103									95	266	820	86,6	3152	3309	R_a = 118 mΩ L_a = 1,72 mH U_{fN}/U_{vN} = A	3BSM003050- ••• ••• = AVA [2] ••• = AVB [3] ••• = AVC [4]
	1163								100	266	820	87,0	3152	3490		
		1223							105	266	819	87,4	3152	3670		
			1314						113	266	819	88,0	3152	3941		
				1464					125	266	818	88,7	3152	4097		
					1555				133	266	818	89,1	3152	4097		
1417									123	342	832	88,2	3800	4250	R_a = 76 mΩ L_a = 0,99 mH U_{fN}/U_{vN} = H	3BSM003050- ••• ••• = AXA [2] ••• = AXB [3] ••• = AXC [4]
	1493								130	342	831	88,6	3800	4479		
		1569							137	342	831	88,9	3800	4500		
			1684						146	340	826	89,4	3800	4500		
				1876					160	336	814	90,0	3800	4500		
					1991				168	333	806	90,3	3800	4500		
						2259			187	326	789	90,9	3800	4500		
							2758		218	314	756	91,5	3800	4500		
								3008	233	308	740	91,8	3800	4500		
1930									154	418	762	90,5	3800	4500	R_a = 41 mΩ L_a = 0,55 mH U_{fN}/U_{vN} = H	3BSM003050- ••• ••• = AYA [2] ••• = AYB [3] ••• = AYC [4]
	2031								162	418	762	90,7	3800	4500		
		2132							170	418	761	90,9	3800	4500		
			2285						178	410	745	91,1	3800	4500		
				2540					191	396	719	91,4	3800	4500		
					2692				198	388	703	91,5	3800	4500		

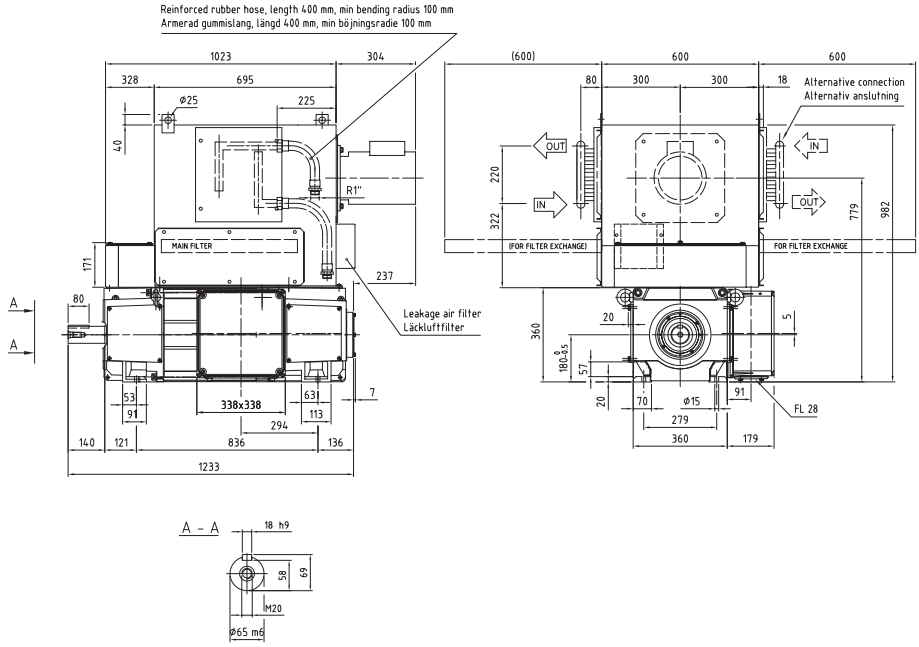
Explanation of motor data cross-references, see page 70/
Explication des références croisées des caractéristiques moteur, voir page 70/
Erklärung der Motorreferenzwerte, siehe Seite 70

Dimensions in mm
Dimensions en mm
Maße in mm

IC 06: IP 23
IC 17: IP 23
IC 37: IP 54, IP 55



IC 86 W: IP 54 / IP 55



867 – 1010 Nm

DMI 180S

Technical data

Caractéristiques techniques

Technische Daten

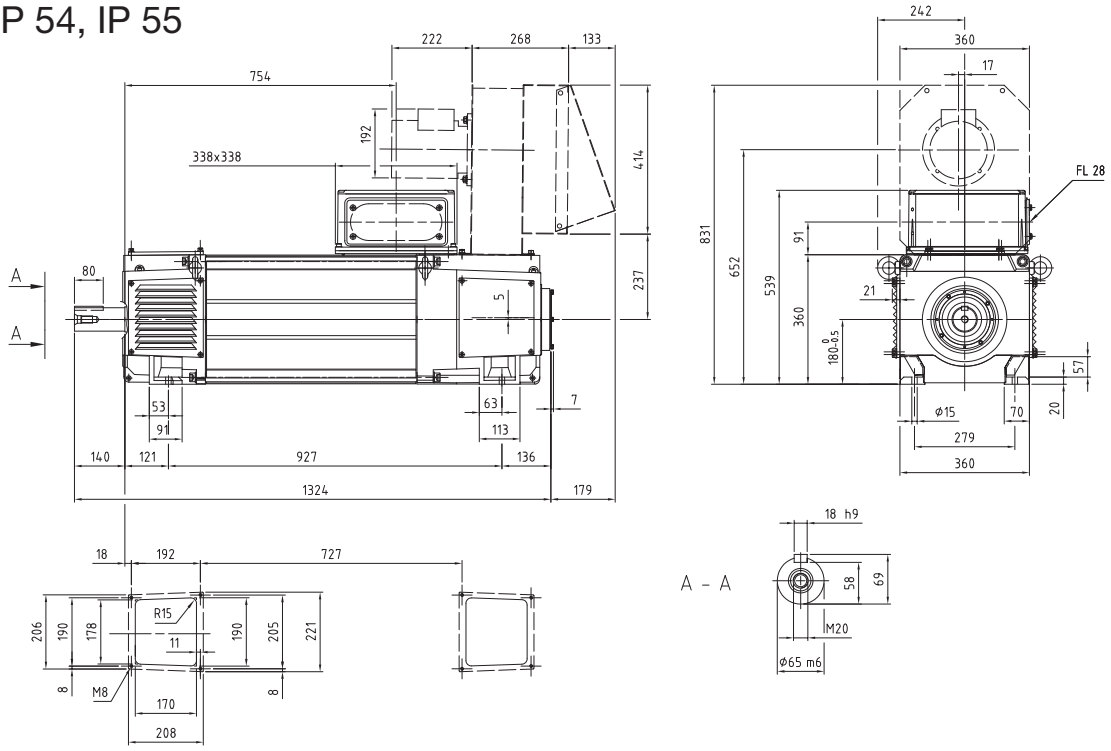
General data Caractéristiques générales Generelle Daten	I_{max}/I_N = 180 % T_{max}/T_N = 160 %	J = 1.1 kgm^2 n_0 = 10 min^{-1}	P_f = 3250 W V_{diss} = 0.25 m^3/s	p_Δ = 1250 Pa W = 610 kg	U_{fN} = 110-440 V

U_N (V) [$U_N > 1,1 \times U_{vN}$ 1)]											n_{max} (min^{-1})		3800	4200		**Cat. No.** **No de catalogue** **Bestellnummer**
400	420	440	470	520	550	620	750	815	**P** (kW)	**I_N** (A)	**T** (Nm)	η (%)	**n_2** (min^{-1})	**n_3 /n_4** (min^{-1})		
n (min^{-1})																
415									**43**	135	995	75,4	1221	1245	R_a = 522 mΩ L_a = 7,77 mH U_{fN}/U_{vN} = G	**3BSM003050- ···** ··· = **AKA** 2) ··· = **AKB** 3) ··· = **AKC** 4)
	440								**46**	135	995	76,4	1221	1321		
		466							**49**	135	995	77,3	1221	1397		
			504						**52**	135	994	78,6	1221	1511		
				567					**59**	135	994	80,3	1222	1589		
					605				**63**	135	993	81,2	1222	1589		
						695			**71**	133	976	83,1	1243	1616		
542									**54**	163	952	78,9	1626	1626	R_a = 358 mΩ L_a = 5,26 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- ···** ··· = **ALA** 2) ··· = **ALB** 3) ··· = **ALC** 4)
	574								**57**	163	952	79,7	1722	1722		
		606							**60**	163	952	80,5	1818	1818		
			654						**65**	163	951	81,5	1962	1962		
				734					**73**	163	950	83,0	2201	2201		
					782				**78**	163	950	83,7	2239	2345		
						893			**89**	163	949	85,2	2241	2680		
							1101		**109**	162	946	87,2	2244	2917		
								1205	**119**	162	945	87,9	2245	2919		
708									**75**	218	1010	82,7	2123	2123	R_a = 213 mΩ L_a = 2,79 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- ···** ··· = **AMA** 2) ··· = **AMB** 3) ··· = **AMC** 4)
	748								**79**	218	1010	83,3	2244	2244		
		788							**83**	218	1009	83,9	2365	2365		
			849						**90**	218	1009	84,8	2508	2546		
				949					**100**	218	1007	85,9	2510	2848		
					1010				**106**	218	1006	86,5	2512	3030		
						1151			**121**	217	1004	87,7	2515	3269		
920									**93**	263	964	85,6	2730	2759	R_a = 133 mΩ L_a = 1,99 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- ···** ··· = **ANA** 2) ··· = **ANB** 3) ··· = **ANC** 4)
	970								**98**	263	964	86,1	2730	2911		
		1021							**103**	263	964	86,6	2730	3063		
			1097						**111**	263	962	87,2	2733	3291		
				1224					**123**	262	960	88,1	2738	3560		
					1300				**130**	262	958	88,5	2741	3564		
1182									**121**	338	979	87,5	3545	3545	R_a = 86 mΩ L_a = 1,15 mH U_{fN}/U_{vN} = H	**3BSM003050- ···** ··· = **AOA** 2) ··· = **AOB** 3) ··· = **AOC** 4)
	1246								**128**	338	979	87,9	3738	3738		
		1310							**134**	337	976	88,3	3800	3930		
			1407						**142**	334	967	88,8	3800	4200		
				1568					**156**	330	952	89,5	3800	4200		
					1665				**165**	327	944	89,9	3800	4200		
						1891			**183**	320	923	90,5	3800	4200		
							2311		**214**	308	886	91,3	3800	4200		
								2521	**229**	302	867	91,6	3800	4200		
1611									**159**	434	940	89,6	3800	4200	R_a = 46 mΩ L_a = 0,64 mH U_{fN}/U_{vN} = H	**3BSM003050- ···** ··· = **APA** 2) ··· = **APB** 3) ··· = **APC** 4)
	1697								**167**	434	939	89,9	3800	4200		
		1782							**175**	434	939	90,2	3800	4200		
			1911						**184**	426	920	90,5	3800	4200		
				2127					**198**	411	887	90,9	3800	4200		
					2257				**205**	403	867	91,1	3800	4200		

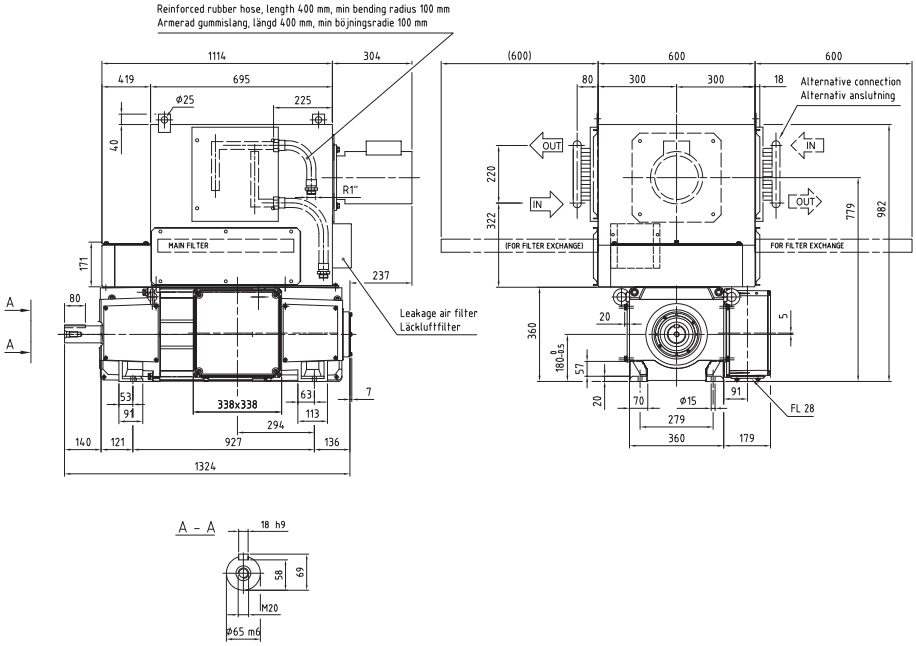
Explanation of motor data cross-references, see page 70/
Explication des références croisées des caractéristiques moteur, voir page 70/
Erklärung der Motorreferenzwerte, siehe Seite 70

Dimensions in mm
Dimensions en mm
Maße in mm

IC 06: IP 23
IC 17: IP 23
IC 37: IP 54, IP 55



IC 86 W: IP 54 / IP 55



1026 – 1183 Nm
DMI 180U

General data Caractéristiques générales Generelle Daten	I_{max}/I_N = 180 % T_{max}/T_N = 160 %	J = 1.2 kgm² n_0 = 10 min⁻¹	P_f = 3600 W V_{diss} = 0.25 m³/s	p_Δ = 1350 Pa W = 700 kg	U_{fN} = 110-440 V

U_N (V) [$U_N > 1,1 \times U_{vN}$ 1)]																		Cat. No. No de catalogue Bestellnummer
400	420	440	470	520	550	620	750	815	P (kW)	I_N (A)	T (Nm)	n_{max} (min⁻¹) η (%)	3600 n_2 (min⁻¹)	3600 n_3 /n_4 (min⁻¹)		
			n (min⁻¹)													
340									42	134	1172	72,8	909	1021	R_a = 593 mΩ L_a = 9,10 mH U_{fN}/U_{vN} = G	3BSM003050- ••• ••• = ACA 2) ••• = ACB 3) ••• = ACC 4)
	362								44	134	1172	73,9	909	1085		
		383							47	134	1172	74,9	909	1149		
			415						51	134	1172	76,3	909	1181		
				469					57	134	1171	78,3	909	1181		
					501				61	134	1171	79,3	909	1181		
						576			70	133	1158	81,3	918	1194		
449									52	160	1112	77,1	1346	1346	R_a = 398 mΩ L_a = 5,96 mH U_{fN}/U_{vN} = A	3BSM003050- ••• ••• = ADA 2) ••• = ADB 3) ••• = ADC 4)
	476								55	160	1112	78,0	1427	1427		
		502							58	160	1112	78,9	1507	1507		
			543						63	160	1111	80,0	1628	1628		
				610					71	160	1110	81,6	1830	1830		
					650				76	160	1110	82,4	1950	1950		
						744			86	160	1109	84,0	2014	2233		
							919		106	160	1106	86,2	2016	2621		
								1006	116	159	1105	87,1	2017	2622		
587									73	215	1183	81,0	1761	1761	R_a = 241 mΩ L_a = 3,23 mH U_{fN}/U_{vN} = A	3BSM003050- ••• ••• = AEA 2) ••• = AEB 3) ••• = AEC 4)
	621								77	215	1183	81,8	1863	1863		
		655							81	215	1183	82,5	1964	1964		
			706						87	215	1183	83,4	2117	2117		
				790					98	215	1182	84,7	2177	2371		
					841				104	215	1182	85,3	2177	2524		
						960			119	215	1181	86,6	2177	2831		
766									90	258	1126	84,3	2297	2297	R_a = 151 mΩ L_a = 2,29 mH U_{fN}/U_{vN} = A	3BSM003050- ••• ••• = AFA 2) ••• = AFB 3) ••• = AFC 4)
	808								95	258	1125	84,9	2400	2425		
		851							100	258	1124	85,4	2401	2553		
			915						108	258	1123	86,1	2402	2746		
				1022					120	258	1122	87,1	2404	3066		
					1086				127	258	1121	87,6	2405	3127		
987									118	333	1146	86,5	2960	2960	R_a = 97 mΩ L_a = 1,32 mH U_{fN}/U_{vN} = J	3BSM003050- ••• ••• = AGA 2) ••• = AGB 3) ••• = AGC 4)
	1041								125	333	1146	86,9	3122	3122		
		1095							131	332	1142	87,4	3285	3285		
			1177						140	330	1133	88,0	3530	3530		
				1313					154	325	1117	88,8	3600	3600		
					1394				162	323	1108	89,2	3600	3600		
						1585			180	317	1086	90,0	3600	3600		
							1939		212	306	1046	91,0	3600	3600		
								2115	227	301	1026	91,3	3600	3600		
1348									159	438	1128	89,0	3600	3600	R_a = 52 mΩ L_a = 0,74 mH U_{fN}/U_{vN} = J	3BSM003050- ••• ••• = AHA 2) ••• = AHB 3) ••• = AHC 4)
	1420								168	438	1127	89,3	3600	3600		
		1492							176	438	1127	89,6	3600	3600		
			1601						186	431	1107	90,0	3600	3600		
				1783					199	416	1067	90,5	3600	3600		
					1893				207	408	1044	90,8	3600	3600		

Explanation of motor data cross-references, see page 70/
Explication des références croisées des caractéristiques moteur, voir page 70/
Erklärung der Motorreferenzwerte, siehe Seite 70

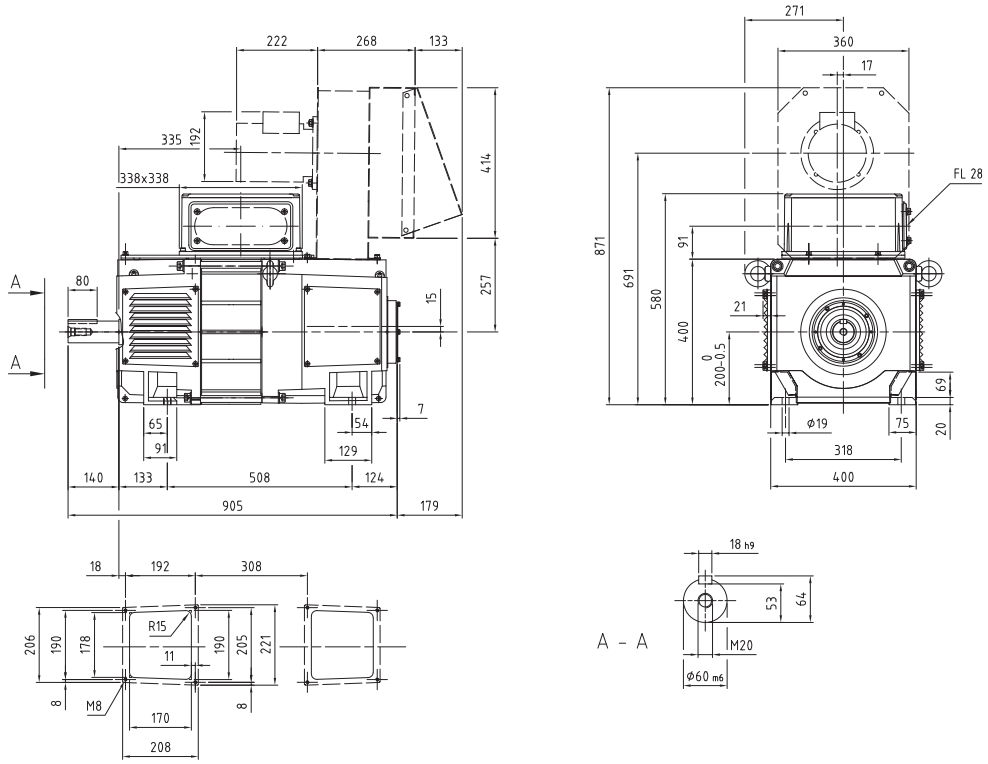
Dimensions in mm
Dimensions en mm
Maße in mm

IC 06: IP 23
IC 17: IP 23
IC 37: IP 54, IP 55

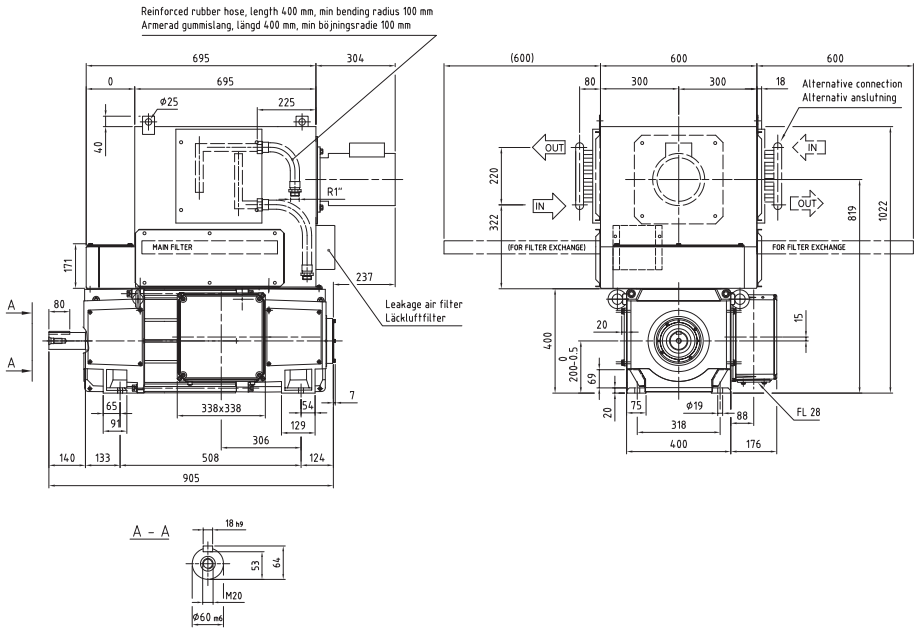
NB! No access to opening at D-end on the side where the terminal box is located. (The terminal bottom covers the opening at D-end)

N.B. ! Pas d'accès à l'ouverture côté entraînement sur le côté où se trouve la boîte à bornes (la boîte à bornes masque l'ouverture côté entraînement).

Achtung! Kein Zugang zur Öffnung am D–Ende auf der Seite des Klemmenkastens. (Die Öffnung am D–Ende wird durch den Boden des Klemmenkastens verdeckt.)



IC 86 W: IP 54 / IP 55



379 – 523 Nm
DMI 200B

Technical data

Caractéristiques techniques

Technische Daten

General data Caractéristiques générales Generelle Daten	I_{max}/I_N = 180 % T_{max}/T_N = 160 %	J = 0.7 kgm^2 n_0 = 10 min^{-1}	P_f = 2000 W V_{diss} = 0.33 m^3/s	p_Δ = 1250 Pa W = 370 kg	U_{fN} = 110-440 V

U_N (V) *[$U_N > 1,1 \times U_{vN}$ 1)]*											n_{max} (min^{-1})		3800	4000		**Cat. No.** **No de catalogue** **Bestellnummer**
400	420	440	470	520	550	620	750	815	**P** (kW)	**I_N** (A)	**T** (Nm)	η (%)	**n_2** (min^{-1})	**n_3 /n_4** (min^{-1})		
n (min^{-1})																
1229									**67**	193	523	84,8	2036	2647	R_a = 205 mΩ L_a = 4,02 mH U_{fN}/U_{vN} = D	**3BSM003050- • • •** • • • = **EGA** 2) • • • = **EGB** 3) • • • = **EGC** 4)
	1298								**71**	192	522	85,3	2039	2651		
		1366							**75**	192	521	85,8	2042	2655		
			1469						**80**	192	519	86,5	2047	2660		
				1641					**89**	191	517	87,4	2054	2670		
					1744				**94**	191	516	87,9	2058	2676		
1578									**82**	230	494	86,7	3800	4000	R_a = 140 mΩ L_a = 2,72 mH U_{fN}/U_{vN} = J	**3BSM003050- • • •** • • • = **EHA** 2) • • • = **EHB** 3) • • • = **EHC** 4)
	1665								**86**	229	493	87,1	3800	4000		
		1751							**90**	229	492	87,5	3800	4000		
			1881						**97**	228	491	88,1	3800	4000		
				2097					**107**	227	488	88,8	3800	4000		
					2227				**113**	227	486	89,2	3800	4000		
						2530			**128**	226	482	89,9	3800	4000		
							3092		**154**	223	475	90,8	3800	4000		
								3373	**167**	222	472	91,1	3800	4000		
1999									**101**	280	483	88,5	3800	4000	R_a = 85 mΩ L_a = 1,4 mH U_{fN}/U_{vN} = J	**3BSM003050- • • •** • • • = **EIA** 2) • • • = **EIB** 3) • • • = **EIC** 4)
	2106								**106**	279	481	88,8	3800	4000		
		2213							**111**	278	479	89,1	3800	4000		
			2374						**119**	277	477	89,5	3800	4000		
				2642					**131**	275	473	90,0	3800	4000		
					2803				**138**	274	470	90,2	3800	4000		
						3178			**155**	271	465	90,7	3800	4000		
2558									**115**	315	430	89,8	3800	4000	R_a = 54 mΩ L_a = 1,03 mH U_{fN}/U_{vN} = J	**3BSM003050- • • •** • • • = **EJA** 2) • • • = **EJB** 3) • • • = **EJC** 4)
	2693								**121**	315	430	90,0	3800	4000		
		2827							**127**	315	429	90,2	3800	4000		
			3028						**136**	314	427	90,4	3800	4000		
				3365					**149**	311	422	90,7	3800	4000		
3244									**129**	353	380	90,0	3800	4000	R_a = 34 mΩ L_a = 0,56 mH U_{fN}/U_{vN} = E	**3BSM003050- • • •** • • • = **EKA** 2) • • • = **EKB** 3) • • • = **EKC** 4)
	3412								**136**	353	379	90,1	3800	4000		
		3580							**142**	353	379	90,1	3800	4000		

Explanation of motor data cross-references, see page 70/
Explication des références croisées des caractéristiques moteur, voir page 70/
Erklärung der Motorreferenzwerte, siehe Seite 70

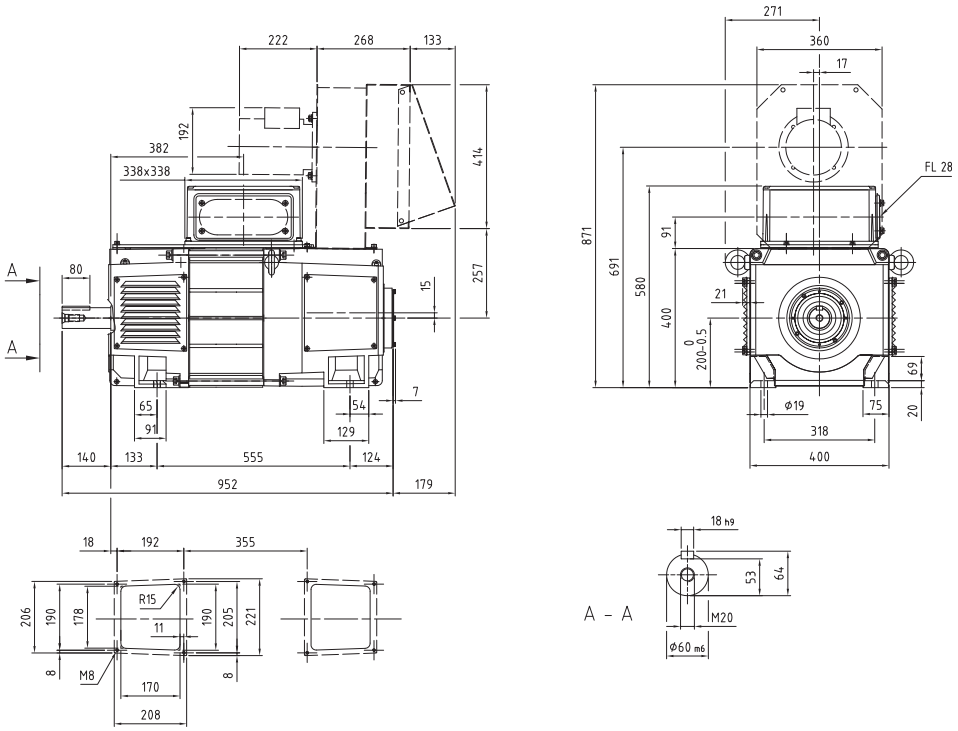
Dimensions in mm
Dimensions en mm
Maße in mm

IC 06: IP 23
IC 17: IP 23
IC 37: IP 54, IP 55

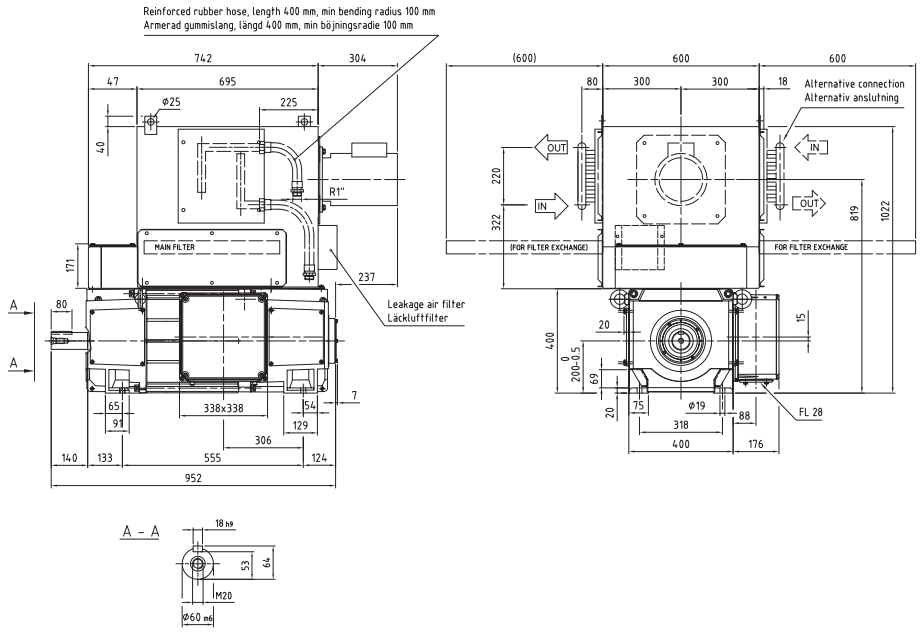
NB! No access to opening at D-end on the side where the terminal box is located. (The terminal bottom covers the opening at D-end)

N.B. ! Pas d'accès à l'ouverture côté entraînement sur le côté où se trouve la boîte à bornes (la boîte à bornes masque l'ouverture côté entraînement).

Achtung! Kein Zugang zur Öffnung am D–Ende auf der Seite des Klemmenkastens. (Die Öffnung am D–Ende wird durch den Boden des Klemmenkastens verdeckt.)



IC 86 W: IP 54 / IP 55



General data Caractéristiques générales Generelle Daten	I_{max}/I_N = 180 % T_{max}/T_N = 160 %	J = 0.9 kgm² n_0 = 10 min⁻¹	P_f = 2400 W V_{diss} = 0.33 m³/s	p_Δ = 1350 Pa W = 430 kg	U_{fN} = 110-440 V

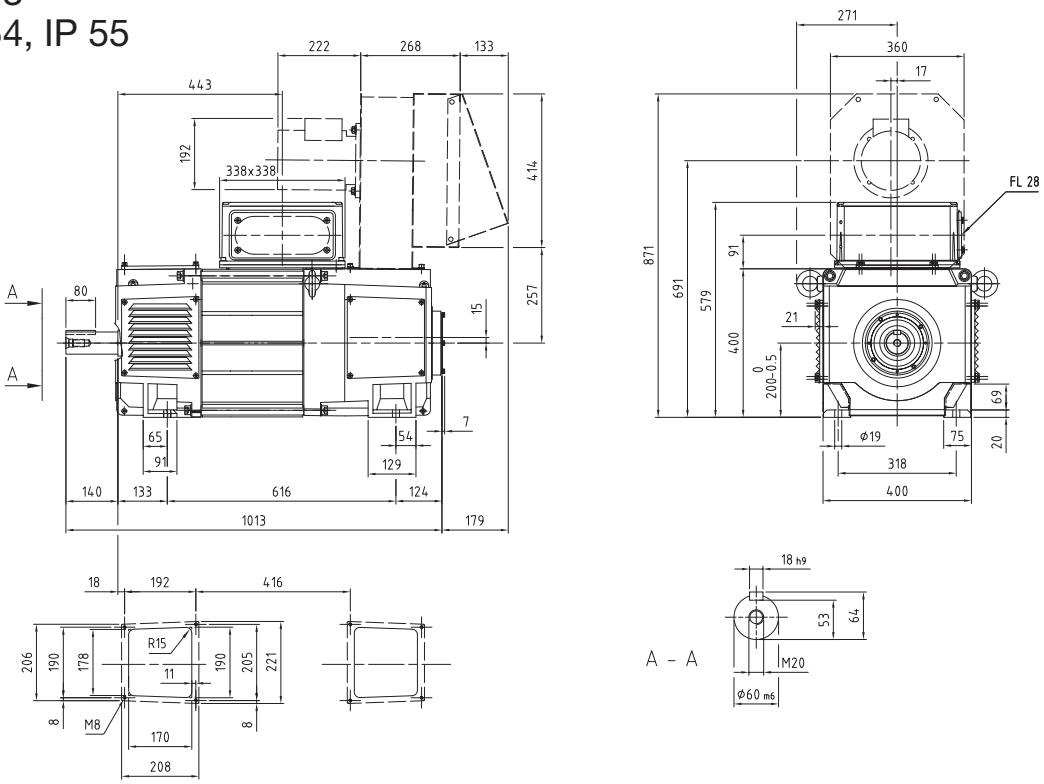
U_N (V) [$U_N > 1,1 \times U_{vN}$ 1)]																		Cat. No. No de catalogue Bestellnummer
											n_{max} (min⁻¹)			3800	4000			
400	420	440	470	520	550	620	750	815	P (kW)	I_N (A)	T (Nm)	η (%)	n_2 (min⁻¹)	n_3 /n_4 (min⁻¹)			
			n (min⁻¹)														
935									**67**	193	679	83,4	1645	2138	R_a = 233 mΩ L_a = 4,78 mH U_{fN}/U_{vN} = F	**3BSM003050- •••** ••• = **DYA** 2) ••• = **DYB** 3) ••• = **DYC** 4)
	988								**70**	193	679	84,1	1645	2138		
		1041							**74**	193	679	84,6	1645	2138		
			1121						**80**	193	679	85,4	1645	2138		
				1253					**89**	193	678	86,5	1645	2138		
					1333				**94**	193	677	87,0	1647	2141		
1206									**82**	232	646	85,7	3499	3619	R_a = 157 mΩ L_a = 3,23 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- •••** ••• = **DZA** 2) ••• = **DZB** 3) ••• = **DZC** 4)
	1273								**86**	231	645	86,2	3503	3820		
		1340							**90**	231	644	86,7	3507	4000		
			1440						**97**	231	642	87,3	3514	4000		
				1608					**108**	230	640	88,2	3525	4000		
					1708				**114**	229	638	88,6	3531	4000		
						1942			**129**	228	634	89,5	3547	4000		
							2377		**156**	227	628	90,6	3576	4000		
								2594	**170**	226	625	91,0	3591	4000		
1540									**106**	295	657	87,9	3800	4000	R_a = 96 mΩ L_a = 1,68 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- •••** ••• = **EAA** 2) ••• = **EAB** 3) ••• = **EAC** 4)
	1623								**111**	294	655	88,2	3800	4000		
		1707							**117**	294	654	88,6	3800	4000		
			1832						**125**	293	652	89,1	3800	4000		
				2041					**139**	292	649	89,7	3800	4000		
					2166				**147**	291	647	90,0	3800	4000		
						2458			**165**	290	642	90,7	3800	4000		
1968									**123**	338	599	89,6	3723	4000	R_a = 60 mΩ L_a = 1,24 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- •••** ••• = **EBA** 2) ••• = **EBB** 3) ••• = **EBC** 4)
	2072								**130**	338	598	89,9	3723	4000		
		2177							**136**	337	597	90,1	3733	4000		
			2333						**145**	336	594	90,4	3748	4000		
				2595					160	334	589	90,9	3772	4000		
2508									**144**	391	547	90,4	3800	4000	R_a = 38 mΩ L_a = 0,67 mH U_{fN}/U_{vN} = E	**3BSM003050- •••** ••• = **ECA** 2) ••• = **ECB** 3) ••• = **ECC** 4)
	2639								**151**	391	547	90,6	3800	4000		
		2770							**158**	390	545	90,8	3800	4000		
			2967						**168**	388	541	91,0	3800	4000		
				3295					**185**	385	535	91,2	3800	4000		
					3492				194	383	532	91,3	3800	4000		
3359									**163**	442	464	91,0	3800	4000	R_a = 20 mΩ L_a = 0,36 mH U_{fN}/U_{vN} = E	**3BSM003050- •••** ••• = **EDA** 2) ••• = **EDB** 3) ••• = **EDC** 4)
	3531								**171**	442	464	91,1	3800	4000		
		3704							**180**	442	463	91,2	3800	4000		

5

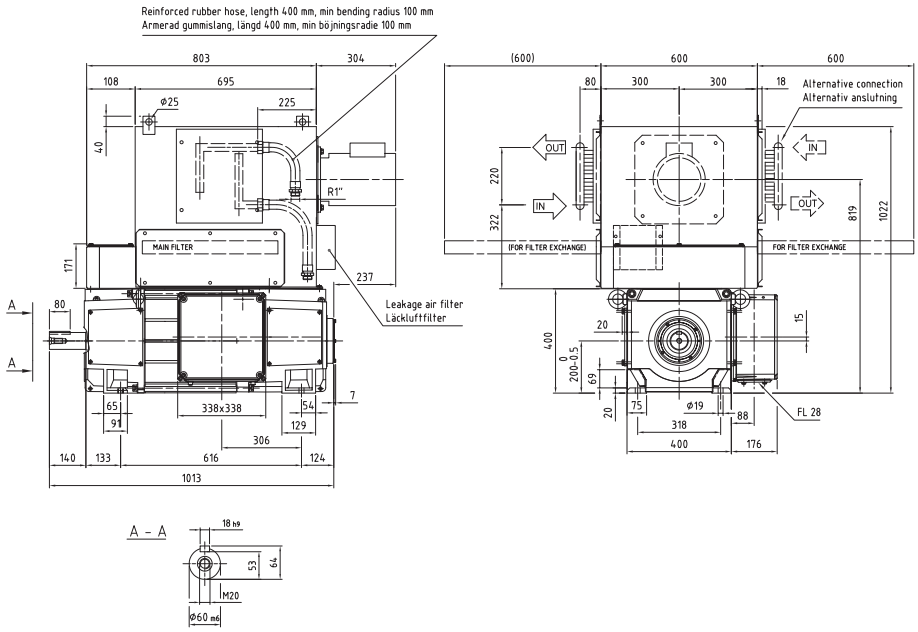
Explanation of motor data cross-references, see page 70/
Explication des références croisées des caractéristiques moteur, voir page 70/
Erklärung der Motorreferenzwerte, siehe Seite 70

Dimensions in mm
Dimensions en mm
Maße in mm

IC 06: IP 23
IC 17: IP 23
IC 37: IP 54, IP 55



IC 86 W: IP 54 / IP 55



General data Caractéristiques générales Generelle Daten	I_{max}/I_N = 180 %	J = 1.0 kgm²	P_f = 2750 W	p_Δ = 1500 Pa	U_{fN} = 110-440 V
	T_{max}/T_N = 160 %	n_0 = 10 min⁻¹	V_{diss} = 0.33 m³/s	W = 500 kg	

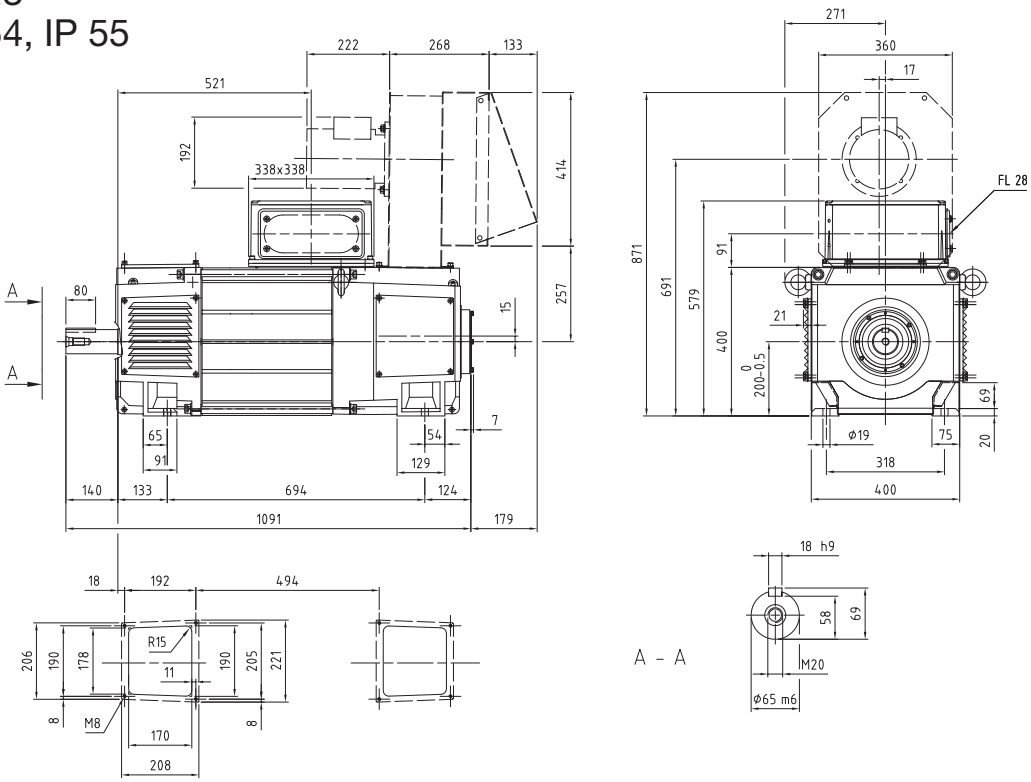
U_N (V) [$U_N > 1,1 \times U_{vN}$ 1)]									P (kW)	I_N (A)	T (Nm)	η (%)	n_2 (min⁻¹)	n_3 / n_4 (min⁻¹)		Cat. No. / No de catalogue / Bestellnummer
											n_{max} (min⁻¹)		3800	4000		
400	420	440	470	520	550	620	750	815								
			n (min⁻¹)													
708									**65**	191	873	81,7	1378	1791	R_a = 269 mΩ L_a = 5,8 mH U_{fN}/U_{vN} = F	**3BSM003050- •••** ••• = **DPA** 2) ••• = **DPB** 3) ••• = **DPC** 4)
	749								**68**	191	873	82,4	1378	1791		
		789							**72**	191	873	83,0	1378	1791		
			851						**78**	191	873	83,9	1378	1791		
				953					**87**	191	872	85,2	1378	1791		
					1014				**93**	191	872	85,8	1378	1791		
917									**80**	231	836	84,3	2751	2751	R_a = 181 mΩ L_a = 3,88 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- •••** ••• = **DQA** 2) ••• = **DQB** 3) ••• = **DQC** 4)
	969								**85**	231	836	84,9	2842	2906		
		1020							**89**	231	836	85,4	2842	3060		
			1097						**96**	231	834	86,1	2846	3292		
				1226					**107**	230	831	87,2	2854	3679		
					1304				**113**	230	830	87,7	2858	3716		
						1484			**128**	229	826	88,7	2869	3730		
							1820		**156**	227	818	90,0	2890	3756		
								1987	**170**	226	814	90,5	2900	3770		
1181									**105**	294	846	86,8	3357	3542	R_a = 110 mΩ L_a = 2,03 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- •••** ••• = **DRA** 2) ••• = **DRB** 3) ••• = **DRC** 4)
	1245								**110**	294	846	87,3	3357	3736		
		1310							**116**	294	845	87,7	3357	3930		
			1407						**124**	293	843	88,2	3363	4000		
				1569					**138**	292	839	89,0	3375	4000		
					1666				**146**	292	837	89,4	3382	4000		
						1892			**165**	290	832	90,1	3398	4000		
1515									**134**	370	843	88,7	2784	3620	R_a = 69 mΩ L_a = 1,49 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- •••** ••• = **DSA** 2) ••• = **DSB** 3) ••• = **DSC** 4)
	1597								**141**	370	843	89,0	2784	3620		
		1678							**148**	370	842	89,3	2784	3620		
			1800						**159**	370	842	89,7	2784	3620		
				2004					176	369	839	90,3	2789	3625		
1935									**152**	416	752	90,0	3800	4000	R_a = 44 mΩ L_a = 0,82 mH U_{fN}/U_{vN} = E	**3BSM003050- •••** ••• = **DTA** 2) ••• = **DTB** 3) ••• = **DTC** 4)
	2037								**160**	416	751	90,2	3800	4000		
		2139							**168**	416	751	90,5	3800	4000		
			2292						**179**	413	744	90,7	3800	4000		
				2548					**195**	407	732	91,1	3800	4000		
					2702				**205**	403	724	91,3	3800	4000		
						3060			**227**	395	708	91,5	3800	4000		
							3726		**264**	380	677	91,8	3800	4000		
2603									**185**	499	678	91,2	3800	4000	R_a = 23 mΩ L_a = 0,44 mH U_{fN}/U_{vN} = E	**3BSM003050- •••** ••• = **DUA** 2) ••• = **DUB** 3) ••• = **DUC** 4)
	2738								**194**	499	677	91,4	3800	4000		
		2872							**203**	499	676	91,5	3800	4000		
			3076						**214**	490	663	91,6	3800	4000		
				3414					**229**	475	641	91,6	3800	4000		
					3618				**238**	467	628	91,6	3800	4000		

5

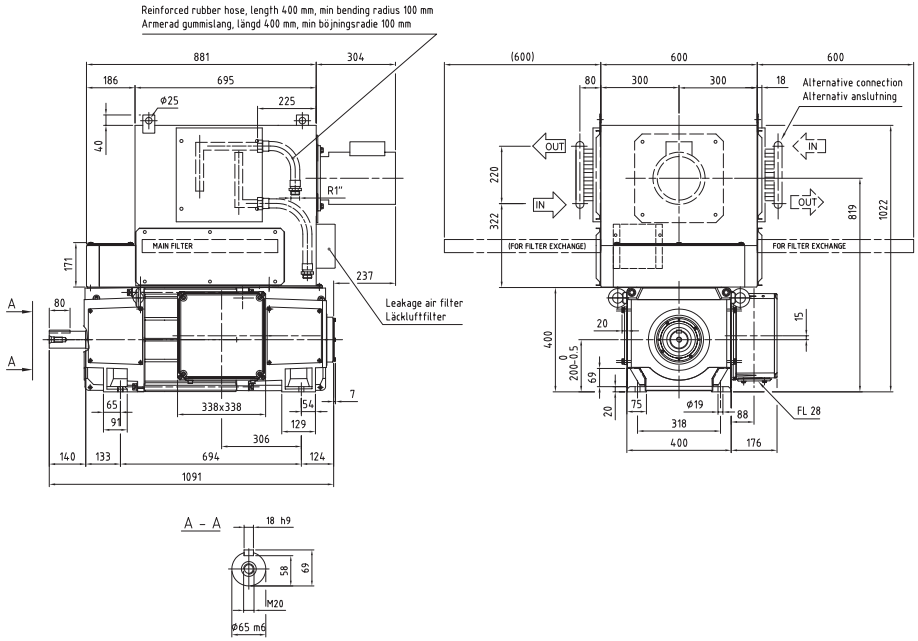
Explanation of motor data cross-references, see page 70/
Explication des références croisées des caractéristiques moteur, voir page 70/
Erklärung der Motorreferenzwerte, siehe Seite 70

Dimensions in mm
Dimensions en mm
Maße in mm

IC 06: IP 23
IC 17: IP 23
IC 37: IP 54, IP 55



IC 86 W: IP 54 / IP 55



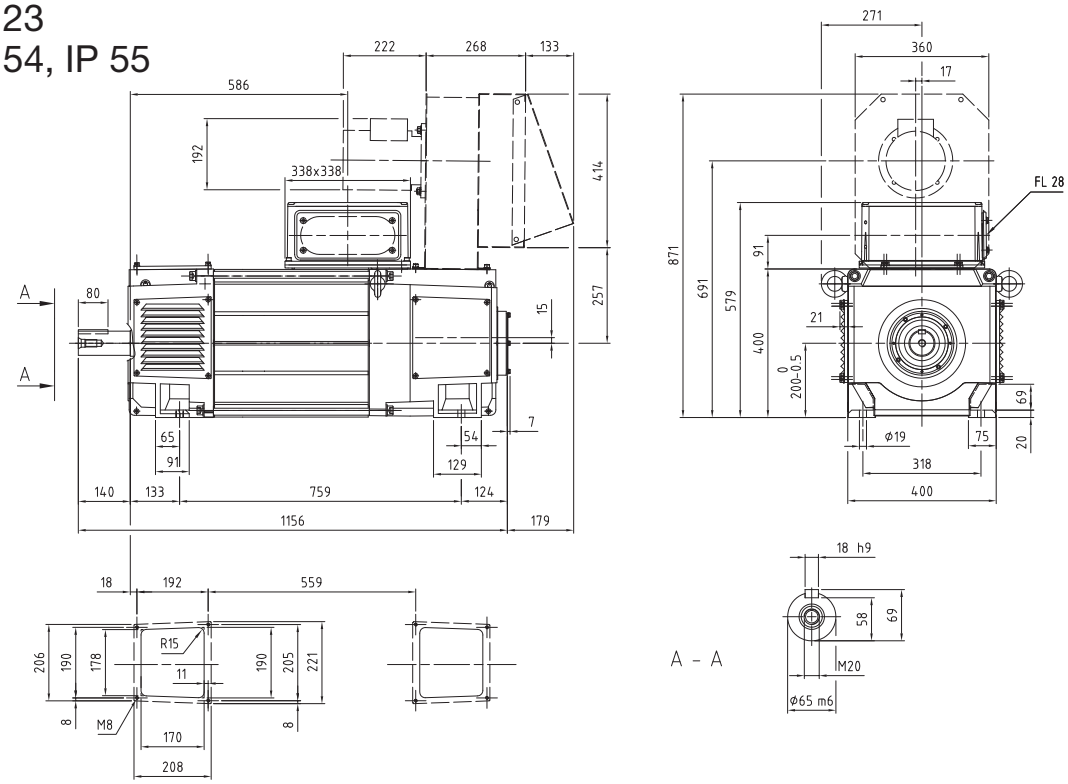
General data Caractéristiques générales Generelle Daten	I_{max}/I_N = 180 %	J = 1.2 kgm²	P_f = 3300 W	p_Δ = 1400 Pa	U_{fN} = 110-440 V
	T_{max}/T_N = 160 %	n_0 = 10 min⁻¹	V_{diss} = 0.33 m³/s	W = 580 kg	

U_N (V) [$U_N > 1,1 \times U_{vN}$ 1)]									P (kW)	I_N (A)	T (Nm)	η (%)	n_2 (min⁻¹)	n_3 /n_4 (min⁻¹)		Cat. No. / No de catalogue / Bestellnummer
400	420	440	470	520	550	620	750	815			n_{max} (min⁻¹)		3800	4000		
			n (min⁻¹)													
536									61	184	1091	79,4	1159	1506	R_a = 314 mΩ L_a = 7,08 mH U_{fN}/U_{vN} = G	3BSM003050- ••• ••• = DHA 2) ••• = DHB 3) ••• = DHC 4)
	567								65	184	1091	80,2	1159	1506		
		599							68	184	1091	81,0	1159	1506		
			646						74	184	1090	82,0	1160	1508		
				725					83	184	1088	83,4	1161	1510		
					772				88	183	1086	84,2	1162	1511		
696									76	222	1045	82,5	2089	2089	R_a = 210 mΩ L_a = 4,72 mH U_{fN}/U_{vN} = A	3BSM003050- ••• ••• = DIA 2) ••• = DIB 3) ••• = DIC 4)
	736								80	222	1044	83,2	2208	2208		
		776							85	222	1044	83,8	2327	2327		
			835						91	222	1043	84,6	2417	2506		
				934					102	222	1043	85,8	2417	2803		
					994				108	222	1042	86,4	2417	2982		
						1133			123	222	1040	87,5	2420	3146		
							1391		151	221	1034	89,0	2430	3159		
								1520	164	220	1031	89,6	2435	3166		
900									100	283	1058	85,5	2701	2701	R_a = 128 mΩ L_a = 2,48 mH U_{fN}/U_{vN} = A	3BSM003050- ••• ••• = DJA 2) ••• = DJB 3) ••• = DJC 4)
	950								105	283	1057	86,0	2805	2850		
		1000							111	283	1057	86,4	2805	3000		
			1075						119	283	1056	87,1	2805	3224		
				1199					132	283	1054	87,9	2807	3597		
					1274				140	282	1052	88,4	2811	3655		
						1448			159	281	1047	89,2	2822	3669		
1160									128	356	1052	87,6	2351	3057	R_a = 81 mΩ L_a = 1,81 mH U_{fN}/U_{vN} = A	3BSM003050- ••• ••• = DKA 2) ••• = DKB 3) ••• = DKC 4)
	1223								135	356	1051	88,0	2351	3057		
		1286							141	356	1051	88,3	2351	3057		
			1380						151	355	1048	88,8	2356	3063		
				1538					168	354	1043	89,5	2364	3074		
1487									157	433	1011	89,1	3800	4000	R_a = 51 mΩ L_a = 1,00 mH U_{fN}/U_{vN} = H	3BSM003050- ••• ••• = DLA 2) ••• = DLB 3) ••• = DLC 4)
	1567								165	431	1004	89,4	3800	4000		
		1647							172	428	998	89,7	3800	4000		
			1766						183	424	988	90,0	3800	4000		
				1965					200	418	972	90,5	3800	4000		
					2085				210	415	962	90,7	3800	4000		
						2364			233	406	940	91,1	3800	4000		
							2881		271	390	898	91,5	3800	4000		
								3140	288	382	877	91,6	3800	4000		
2010									188	510	892	90,4	3800	4000	R_a = 26 mΩ L_a = 0,54 mH U_{fN}/U_{vN} = H	3BSM003050- ••• ••• = DMA 2) ••• = DMB 3) ••• = DMC 4)
	2114								197	510	891	90,6	3800	4000		
		2219							207	510	890	90,7	3800	4000		
			2377						217	500	871	90,8	3800	4000		
				2640					232	484	840	90,9	3800	4000		
					2798				241	475	821	91,0	3800	4000		

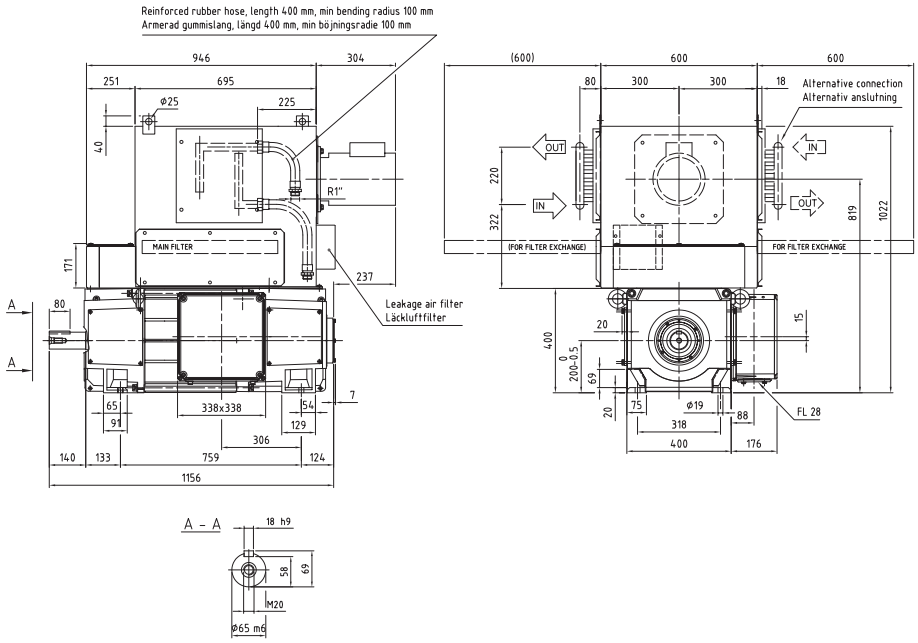
Explanation of motor data cross-references, see page 70/
Explication des références croisées des caractéristiques moteur, voir page 70/
Erklärung der Motorreferenzwerte, siehe Seite 70

Dimensions in mm
Dimensions en mm
Maße in mm

IC 06: IP 23
IC 17: IP 23
IC 37: IP 54, IP 55



IC 86 W: IP 54 / IP 55



1037 – 1252 Nm
DMI 200P

General data
Caractéristiques générales
Generelle Daten

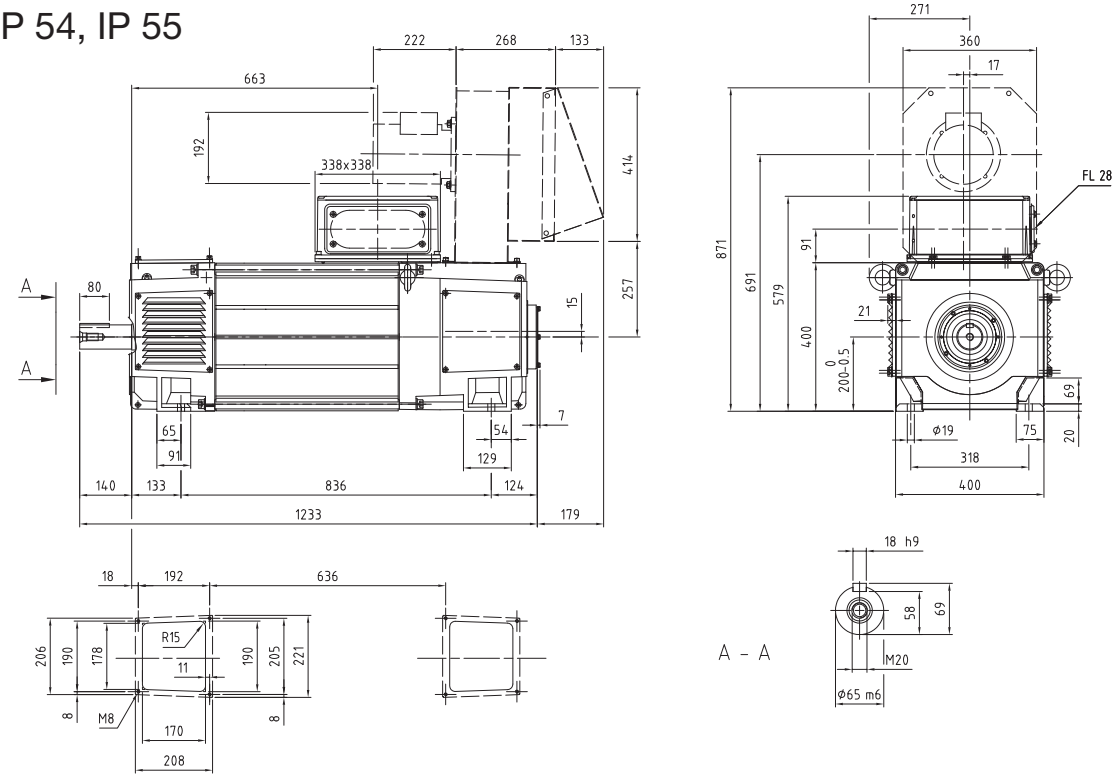
I_{max}/I_N = 180 %
T_{max}/T_N = 160 %
J = 1.4 kgm^2
n_0 = 10 min^{-1}
P_f = 3750 W
V_{diss} = 0.33 m^3/s
p_Δ = 1500 Pa
W = 670 kg
U_{fN} = 110-440 V

U_N (V) [$U_N > 1,1 \times U_{vN}$ 1)]											n_{max} (min^{-1})		3800	4000		**Cat. No.** **No de catalogue** **Bestellnummer**
400	**420**	**440**	**470**	**520**	**550**	**620**	**750**	**815**	**P** (kW)	**I_N** (A)	**T** (Nm)	η (%)	**n_2** (min^{-1})	**n_3 /n_4** (min^{-1})		
			n (min^{-1})													
447									**58**	175	1230	77,9	1010	1313	R_a = 352 mΩ L_a = 8,17 mH U_{fN}/U_{vN} = G	**3BSM003050-** ••• ••• = **CZA** 2) ••• = **CZB** 3) ••• = **CZC** 4)
	473								**61**	175	1230	78,8	1010	1313		
		500							**64**	175	1230	79,6	1010	1313		
			539						**69**	175	1229	80,7	1010	1313		
				606					**78**	175	1229	82,3	1010	1313		
					646				**83**	175	1228	83,0	1010	1313		
577									**74**	218	1224	81,1	1732	1732	R_a = 235 mΩ L_a = 5,41 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050-** ••• ••• = **DAA** 2) ••• = **DAB** 3) ••• = **DAC** 4)
	611								**78**	218	1223	81,8	1832	1832		
		644							**82**	218	1222	82,5	1932	1932		
			694						**89**	218	1220	83,4	2082	2082		
				777					**99**	218	1218	84,7	2135	2332		
					827				**105**	217	1217	85,4	2136	2482		
						944			**120**	217	1214	86,7	2140	2782		
							1161		**147**	216	1208	88,4	2147	2792		
								1269	**160**	216	1205	89,0	2151	2796		
748									**98**	281	1252	84,3	2245	2245	R_a = 143 mΩ L_a = 2,87 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050-** ••• ••• = **DBA** 2) ••• = **DBB** 3) ••• = **DBC** 4)
	790								**104**	281	1251	84,9	2370	2370		
		832							**109**	281	1251	85,4	2426	2496		
			895						**117**	281	1249	86,2	2430	2684		
				999					**130**	280	1245	87,1	2435	2998		
					1062				**138**	280	1243	87,7	2438	3170		
						1209			**157**	279	1237	88,6	2446	3180		
968									**126**	353	1242	86,7	2051	2666	R_a = 90 mΩ L_a = 2,07 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050-** ••• ••• = **DCA** 2) ••• = **DCB** 3) ••• = **DCC** 4)
	1021								**133**	353	1241	87,2	2051	2666		
		1074							**139**	353	1241	87,6	2051	2666		
			1153						**150**	353	1240	88,2	2051	2666		
				1285					167	353	1238	88,9	2053	2669		
1245									**160**	442	1226	88,5	3736	3736	R_a = 57 mΩ L_a = 1,15 mH U_{fN}/U_{vN} = B	**3BSM003050-** ••• ••• = **DDA** 2) ••• = **DDB** 3) ••• = **DDC** 4)
	1312								**168**	442	1225	88,8	3800	3937		
		1379							**177**	442	1225	89,1	3800	4000		
			1480						**189**	440	1217	89,6	3800	4000		
				1648					**207**	434	1200	90,2	3800	4000		
					1749				**218**	431	1189	90,4	3800	4000		
						1984			**242**	423	1164	91,0	3800	4000		
							2421		**284**	408	1119	91,6	3800	4000		
								2642	**294**	388	1061	91,7	3800	4000		
1688									**198**	539	1121	90,3	3800	4000	R_a = 30 mΩ L_a = 0,63 mH U_{fN}/U_{vN} = B	**3BSM003050-** ••• ••• = **DEA** 2) ••• = **DEB** 3) ••• = **DEC** 4)
	1777								**208**	539	1120	90,5	3800	4000		
		1865							**218**	538	1118	90,7	3800	4000		
			1999						**229**	528	1095	90,9	3800	4000		
				2222					**246**	512	1059	91,1	3800	4000		
					2356				**256**	503	1037	91,2	3800	4000		

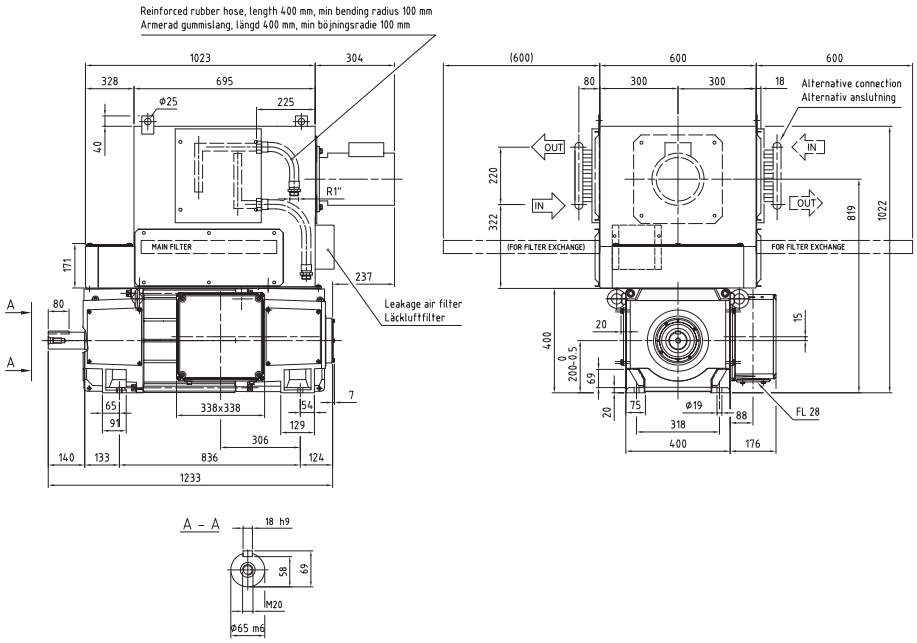
Explanation of motor data cross-references, see page 70/
Explication des références croisées des caractéristiques moteur, voir page 70/
Erklärung der Motorreferenzwerte, siehe Seite 70

Dimensions in mm
Dimensions en mm
Maße in mm

IC 06: IP 23
IC 17: IP 23
IC 37: IP 54, IP 55



IC 86 W: IP 54 / IP 55



1177 – 1404 Nm

DMI 200S

General data
Caractéristiques générales
Generelle Daten

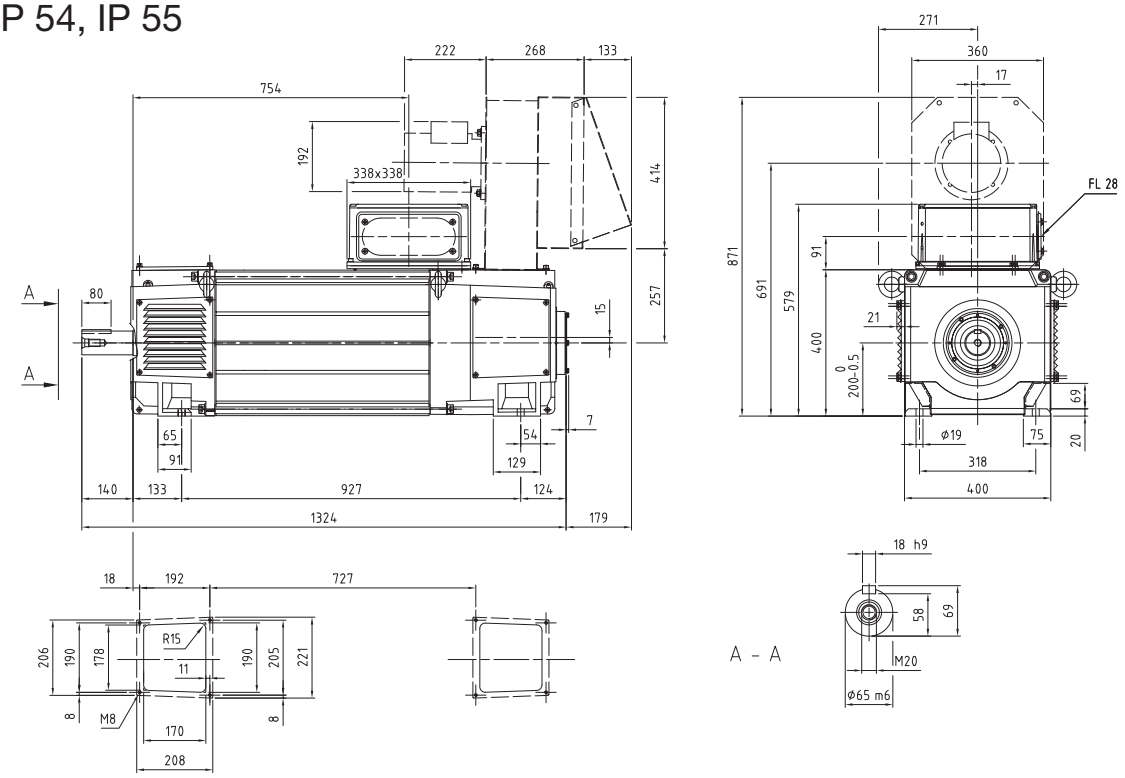
I_{max}/I_N = 180 %
T_{max}/T_N = 160 %
J = 1.6 kgm²
n_0 = 10 min⁻¹
P_f = 4000 W
V_{diss} = 0.33 m³/s
p_Δ = 1650 Pa
W = 770 kg
U_{fN} = 110-440 V

U_N (V) *[$U_N > 1,1 \times U_{vN}$ 1)]*											n_{max} (min⁻¹)		3800	3900		
400	**420**	**440**	**470**	**520**	**550**	**620**	**750**	**815**	**P**	**I_N**	**T**	**η**	**n_2**	**n_3 /n_4**		**Cat. No.** **No de catalogue** **Bestellnummer**
			n (min⁻¹)						(kW)	(A)	(Nm)	(%)	(min⁻¹)	(min⁻¹)		
383									**56**	175	1402	76	865	1125	R_a = 396 mΩ L_a = 9,44 mH U_{fN}/U_{vN} = G	**3BSM003050- •••** **••• = CQA** 2) **••• = CQB** 3) **••• = CQC** 4)
	406								**60**	175	1401	77	865	1125		
		430							**63**	175	1401	78	865	1125		
			465						**68**	175	1400	80	866	1126		
				523					**77**	174	1399	81	867	1127		
					558				**82**	174	1398	82	867	1128		
502									**73**	218	1382	80	1505	1505	R_a = 264 mΩ L_a = 6,25 mH U_{fN}/U_{vN} = D	**3BSM003050- •••** **••• = CRA** 2) **••• = CRB** 3) **••• = CRC** 4)
	531								**77**	218	1382	81	1594	1594		
		561							**81**	218	1381	82	1683	1683		
			605						**87**	218	1380	83	1815	1815		
				679					**98**	218	1378	84	1850	2037		
					723				**104**	217	1377	85	1851	2170		
						827			**119**	217	1374	86	1854	2410		
							1018		**146**	216	1369	88	1859	2417		
								1114	**160**	216	1367	89	1862	2420		
655									**96**	279	1404	84	1966	1966	R_a = 161 mΩ L_a = 3,31 mH U_{fN}/U_{vN} = D	**3BSM003050- •••** **••• = CSA** 2) **••• = CSB** 3) **••• = CSC** 4)
	692								**102**	279	1404	84	2077	2077		
		730							**107**	279	1403	85	2102	2189		
			785						**115**	278	1401	86	2104	2356		
				878					**129**	278	1398	87	2108	2635		
					934				**137**	278	1396	87	2110	2743		
						1064			**155**	277	1392	88	2116	2751		
848									**120**	337	1348	87	1775	2307	R_a = 101 mΩ L_a = 2,4 mH U_{fN}/U_{vN} = D	**3BSM003050- •••** **••• = CTA** 2) **••• = CTB** 3) **••• = CTC** 4)
	895								**126**	337	1348	87	1775	2307		
		941							**133**	337	1347	87	1776	2309		
			1011						**142**	336	1344	88	1779	2313		
				1128					**158**	335	1340	89	1784	2319		
1095									**160**	444	1396	88	3286	3286	R_a = 64 mΩ L_a = 1,33 mH U_{fN}/U_{vN} = J	**3BSM003050- •••** **••• = CUA** 2) **••• = CUB** 3) **••• = CUC** 4)
	1155								**168**	443	1393	89	3465	3465		
		1215							**176**	441	1385	89	3644	3644		
			1304						**188**	437	1374	90	3800	3900		
				1453					**206**	432	1355	90	3800	3900		
					1543				**217**	428	1344	91	3800	3900		
						1752			**242**	420	1318	92	3800	3900		
							2140		**285**	406	1270	92	3800	3900		
								2336	**297**	388	1212	93	3800	3900		
1499									**208**	563	1324	91	3800	3900	R_a = 33 mΩ L_a = 0,73 mH U_{fN}/U_{vN} = J	**3BSM003050- •••** **••• = CVA** 2 **••• = CVB** 3) **••• = CVC** 4)
	1578								**218**	561	1319	91	3800	3900		
		1659							**225**	552	1297	91	3800	3900		
			1779						**236**	539	1264	92	3800	3900		
				1980					**251**	516	1210	92	3800	3900		
					2100				**259**	502	1177	92	3800	3900		

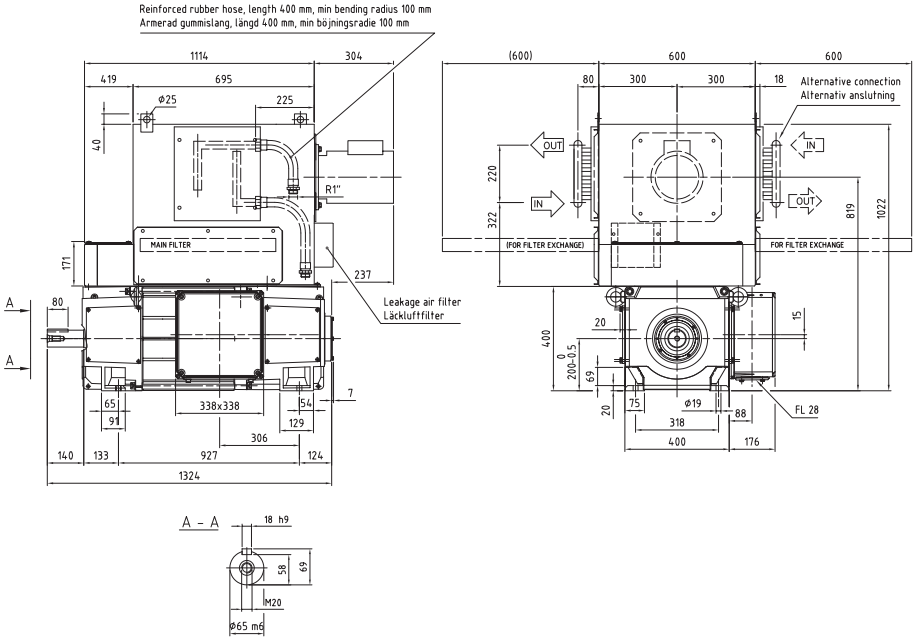
Explanation of motor data cross-references, see page 70/
Explication des références croisées des caractéristiques moteur, voir page 70/
Erklärung der Motorreferenzwerte, siehe Seite 70

Dimensions in mm
Dimensions en mm
Maße in mm

IC 06: IP 23
IC 17: IP 23
IC 37: IP 54, IP 55



IC 86 W: IP 54 / IP 55



1459 – 1668 Nm
DMI 200U

General data Caractéristiques générales Generelle Daten	I_{max}/I_N = 180 %	J = 1.8 kgm²	P_f = 4500W	p_Δ = 1850 Pa	U_{fN} = 110-440 V
	T_{max}/T_N = 160 %	n_0 = 10 min⁻¹	V_{diss} = 0.33 m³/s	W = 880 kg	

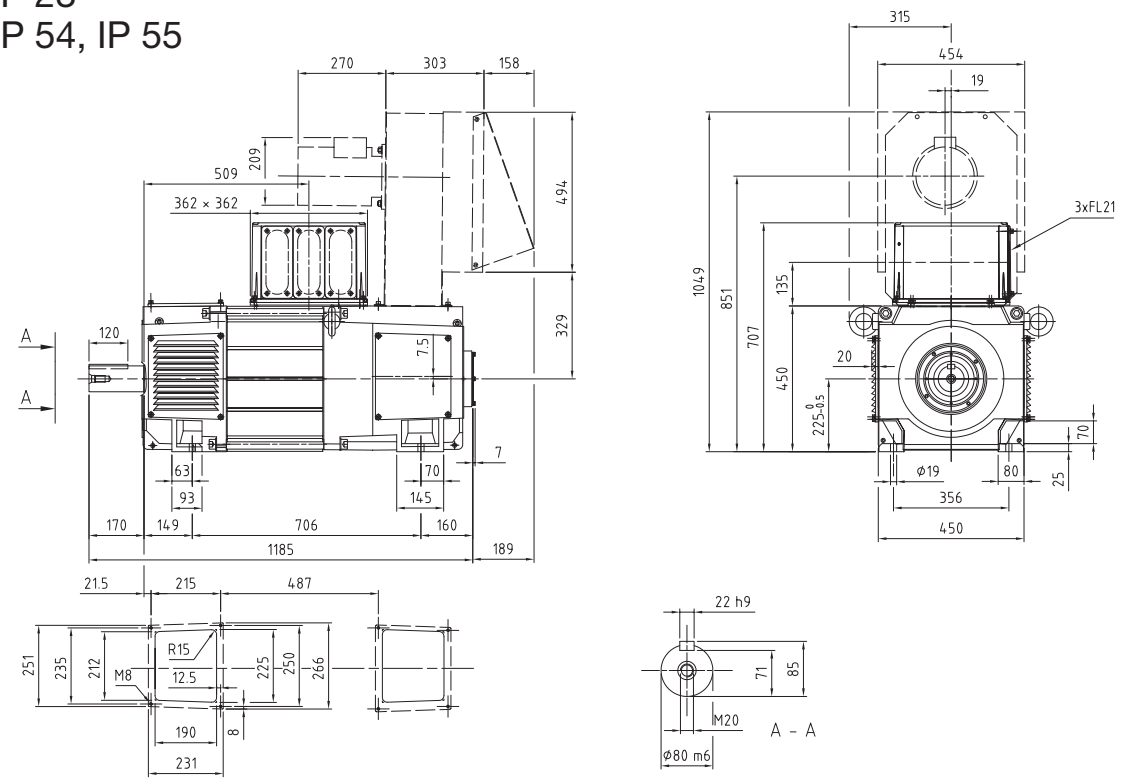
U_N (V) [$U_N > 1,1 \times U_{vN}$ 1)]									P (kW)	I_N (A)	T (Nm)	η (%)	n_2 (min⁻¹)	n_3/n_4 (min⁻¹)		Cat. No. / No de catalogue / Bestellnummer
400	420	440	470	520	550	620	750	815			n_{max} (min⁻¹)		3400	3400		
			n (min⁻¹)													
313									53	168	1620	74,3	765	939	R_a = 450 mΩ L_a = 10,94 mH U_{fN}/U_{vN} = G	3BSM003050- ••• ••• = CIA 2) ••• = CIB 3) ••• = CIC 4)
	332								56	168	1619	75,4	765	995		
		352							60	168	1619	76,4	766	995		
			381						65	168	1618	77,7	766	996		
				430					73	168	1617	79,5	766	996		
					459				78	168	1616	80,5	767	997		
409									71	217	1652	77,9	1228	1228	R_a = 299 mΩ L_a = 7,2 mH U_{fN}/U_{vN} = F	3BSM003050- ••• ••• = CJA 2) ••• = CJB 3) ••• = CJC 4)
	434								75	217	1652	78,8	1302	1302		
		459							79	217	1651	79,6	1376	1376		
			495						86	217	1650	80,7	1486	1486		
				557					96	217	1648	82,3	1591	1671		
					594				102	216	1647	83,1	1592	1781		
						680			117	216	1645	84,7	1594	2040		
							840		144	216	1640	86,9	1597	2077		
								920	158	215	1637	87,8	1599	2079		
538									94	276	1668	82,1	1614	1614	R_a = 181 mΩ L_a = 3,84 mH U_{fN}/U_{vN} = F	3BSM003050- ••• ••• = CKA 2) ••• = CKB 3) ••• = CKC 4)
	569								99	276	1668	82,8	1706	1706		
		600							105	276	1668	83,4	1799	1799		
			646						113	276	1668	84,3	1842	1938		
				723					126	276	1667	85,6	1842	2170		
					770				134	276	1667	86,2	1842	2309		
						878			153	276	1664	87,5	1845	2399		
699									117	332	1597	85,3	1553	2018	R_a = 115 mΩ L_a = 2,72 mH U_{fN}/U_{vN} = F	3BSM003050- ••• ••• = CLA 2) ••• = CLB 3) ••• = CLC 4)
	738								123	332	1597	85,9	1553	2018		
		777							130	332	1596	86,4	1553	2018		
			835						140	332	1596	87,1	1553	2018		
				932					156	332	1594	88,1	1554	2020		
905									157	438	1655	87,4	2714	2714	R_a = 72 mΩ L_a = 1,54 mH U_{fN}/U_{vN} = A	3BSM003050- ••• ••• = CMA 2) ••• = CMB 3) ••• = CMC 4)
	954								165	438	1654	87,9	2863	2863		
		1004							174	437	1651	88,3	3011	3011		
			1079						185	433	1636	88,9	3236	3236		
				1203					203	427	1611	89,8	3400	3400		
					1278				214	423	1596	90,2	3400	3400		
						1453			237	414	1560	91,0	3400	3400		
							1777		278	397	1495	92,1	3400	3400		
								1939	296	388	1459	92,5	3400	3400		
1242									204	555	1571	90,3	3400	3400	R_a = 38 mΩ L_a = 0,85 mH U_{fN}/U_{vN} = A	3BSM003050- ••• ••• = CNA 2) ••• = CNB 3) ••• = CNC 4)
	1308								213	551	1557	90,6	3400	3400		
		1375							222	546	1544	90,9	3400	3400		
			1474						235	540	1524	91,3	3400	3400		
				1641					256	528	1491	91,9	3400	3400		
					1740				268	521	1471	92,1	3400	3400		

5

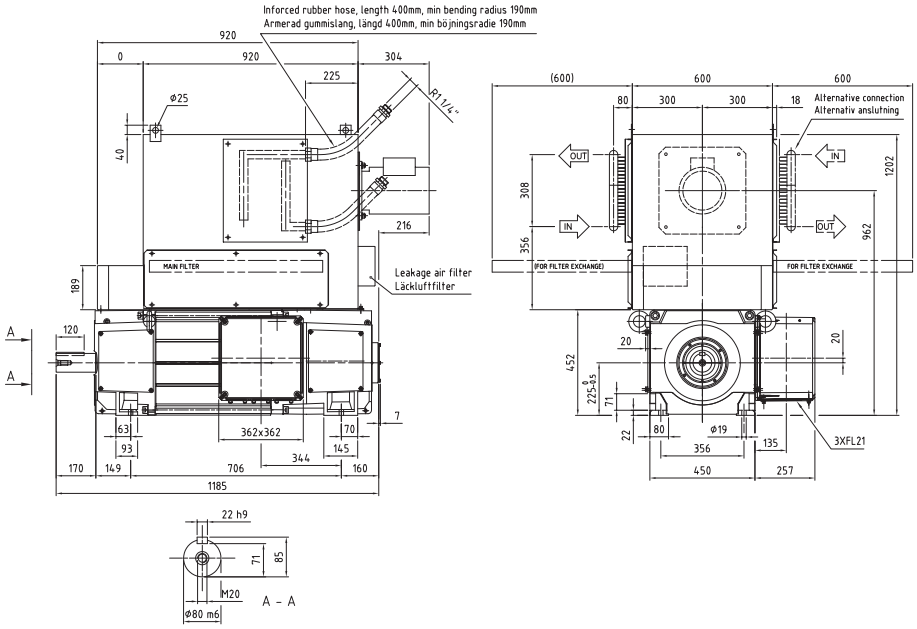
Explanation of motor data cross-references, see page 70/
Explication des références croisées des caractéristiques moteur, voir page 70/
Erklärung der Motorreferenzwerte, siehe Seite 70

Dimensions in mm
Dimensions en mm
Maße in mm

IC 06: IP 23
IC 17: IP 23
IC 37: IP 54, IP 55



IC 86 W: IP 54 / IP 55



1012 – 1226 Nm

DMI 225K

General data
Caractéristiques générales
Generelle Daten

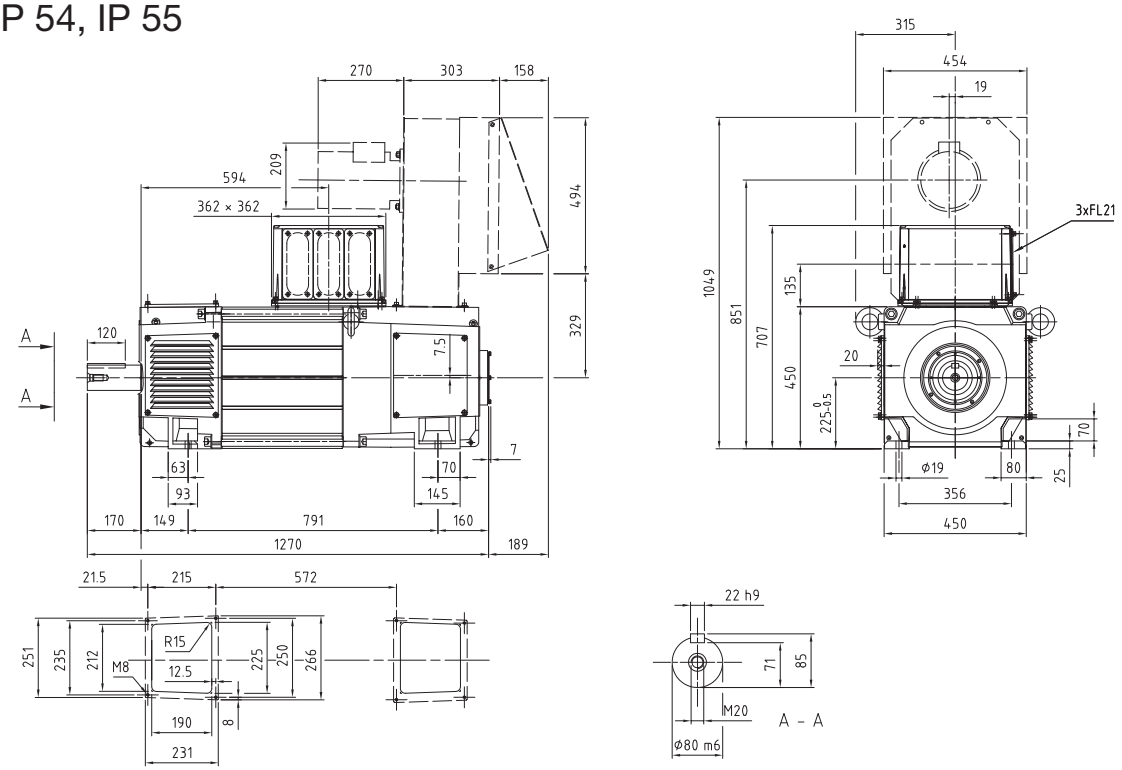
I_{max}/I_N = 180 %
T_{max}/T_N = 160 %
J = 2.2 kgm^2
n_0 = 10 min^{-1}
P_f = 2750 W
V_{diss} = 0.5 m^3/s
p_Δ = 1650 Pa
W = 740 kg
U_{fN} = 110-440 V

U_N (V) *[$U_N > 1,1 \times U_{vN}$ 1)]*											n_{max} (min^{-1})		2900	3400		**Cat. No.** **No de catalogue** **Bestellnummer**
400	**420**	**440**	**470**	**520**	**550**	**620**	**750**	**815**	**P** (kW)	**I_N** (A)	**T** (Nm)	η (%)	**n_2** (min^{-1})	**n_3 /n_4** (min^{-1})		
			n (min^{-1})													
821									**105**	300	1226	85,6	2273	2462	R_a = 127 mΩ L_a = 2,24 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- •••** ••• = **FLA** 2) ••• = **FLB** 3) ••• = **FLC** 4)
	866								**111**	300	1225	86,1	2273	2599		
		912							**117**	300	1225	86,6	2273	2736		
			980						**126**	300	1223	87,2	2276	2941		
				1095					**140**	299	1219	88,1	2281	2965		
					1163				**148**	299	1217	88,6	2284	2969		
						1323			**168**	298	1211	89,5	2291	2979		
							1620		**204**	296	1202	90,6	2305	2997		
1069									**134**	373	1200	88,1	2305	2996	R_a = 76 mΩ L_a = 1,57 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- •••** ••• = **FMA** 2) ••• = **FMB** 3) ••• = **FMC** 4)
	1126								**141**	373	1199	88,5	2305	2996		
		1184							**149**	373	1199	88,9	2305	2996		
			1271						**159**	372	1196	89,4	2309	3002		
				1416					**177**	371	1191	90,0	2316	3011		
					1503				**187**	370	1188	90,4	2321	3017		
						1708			**204**	356	1140	91,0	2413	3137		
1371									**174**	482	1211	88,8	2900	3400	R_a = 54 mΩ L_a = 0,96 mH U_{fN}/U_{vN} = E	**3BSM003050- •••** ••• = **FNA** 2) ••• = **FNB** 3) ••• = **FNC** 4)
	1445								**183**	482	1211	89,1	2900	3400		
		1518							**192**	482	1210	89,4	2900	3400		
			1629						**205**	480	1204	89,8	2900	3400		
				1814					**227**	476	1193	90,3	2900	3400		
					1925				**239**	474	1187	90,6	2900	3400		
						2184			**268**	469	1172	91,1	2900	3400		
							2665		**319**	460	1144	91,7	2900	3400		
								2905	**344**	456	1131	91,9	2900	3400		
1731									**220**	604	1216	90,1	2900	3400	R_a = 32 mΩ L_a = 0,57 mH U_{fN}/U_{vN} = E	**3BSM003050- •••** ••• = **FOA** 2) ••• = **FOB** 3) ••• = **FOC** 4)
	1822								**232**	604	1215	90,3	2900	3400		
		1914							**243**	604	1214	90,5	2900	3400		
			2051						**261**	604	1213	90,8	2900	3400		
				2281					**284**	594	1190	91,1	2900	3400		
					2419				**298**	588	1176	91,3	2900	3400		
						2741			**328**	574	1144	91,5	2900	3400		
2213									**250**	683	1080	90,6	2900	3400	R_a = 19 mΩ L_a = 0,4 mH U_{fN}/U_{vN} = E	**3BSM003050- •••** ••• = **FPA** 2) ••• = **FPB** 3) ••• = **FPC** 4)
	2328								**263**	683	1079	90,7	2900	3400		
		2443							**276**	683	1077	90,8	2900	3400		
			2616						**294**	681	1073	91,9	2900	3400		
				2906					**315**	660	1035	91,0	2900	3400		
					3080				**326**	647	1012	90,9	2900	3400		
2626									**294**	801	1069	90,9	2900	3400	R_a = 14 mΩ L_a = 0,25 mH U_{fN}/U_{vN} = E	**3BSM003050- •••** ••• = **FQA** 2) ••• = **FQB** 3) ••• = **FQC** 4)
	2762								**309**	801	1067	90,9	2900	3400		
		2898							**323**	801	1066	91,0	2900	3400		
			3102						**343**	796	1057	91,0	2900	3400		

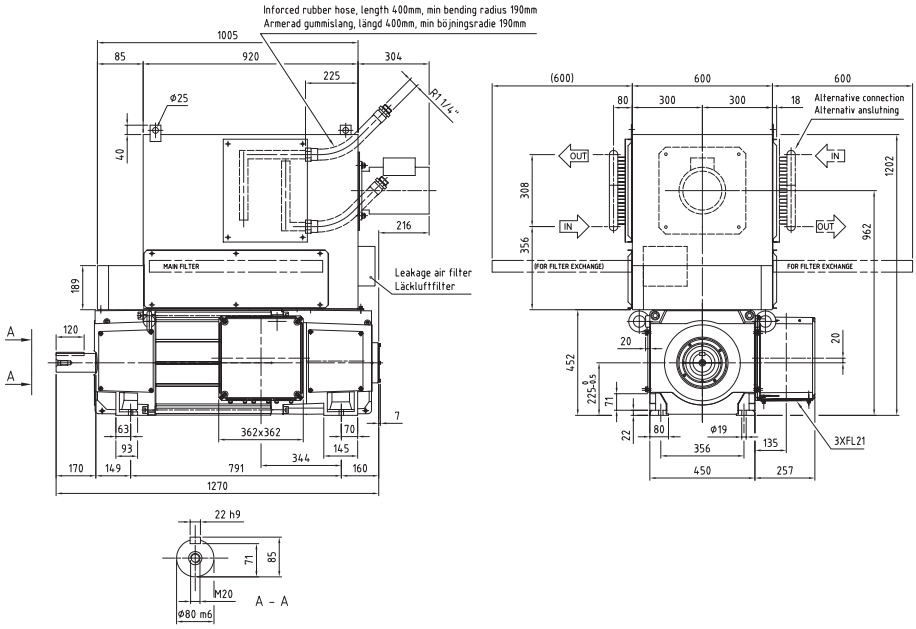
Explanation of motor data cross-references, see page 70/
Explication des références croisées des caractéristiques moteur, voir page 70/
Erklärung der Motorreferenzwerte, siehe Seite 70

Dimensions in mm
Dimensions en mm
Maße in mm

IC 06: IP 23
IC 17: IP 23
IC 37: IP 54, IP 55



IC 86 W: IP 54 / IP 55



1345 – 1578 Nm
DMI 225N

General data
Caractéristiques générales
Generelle Daten

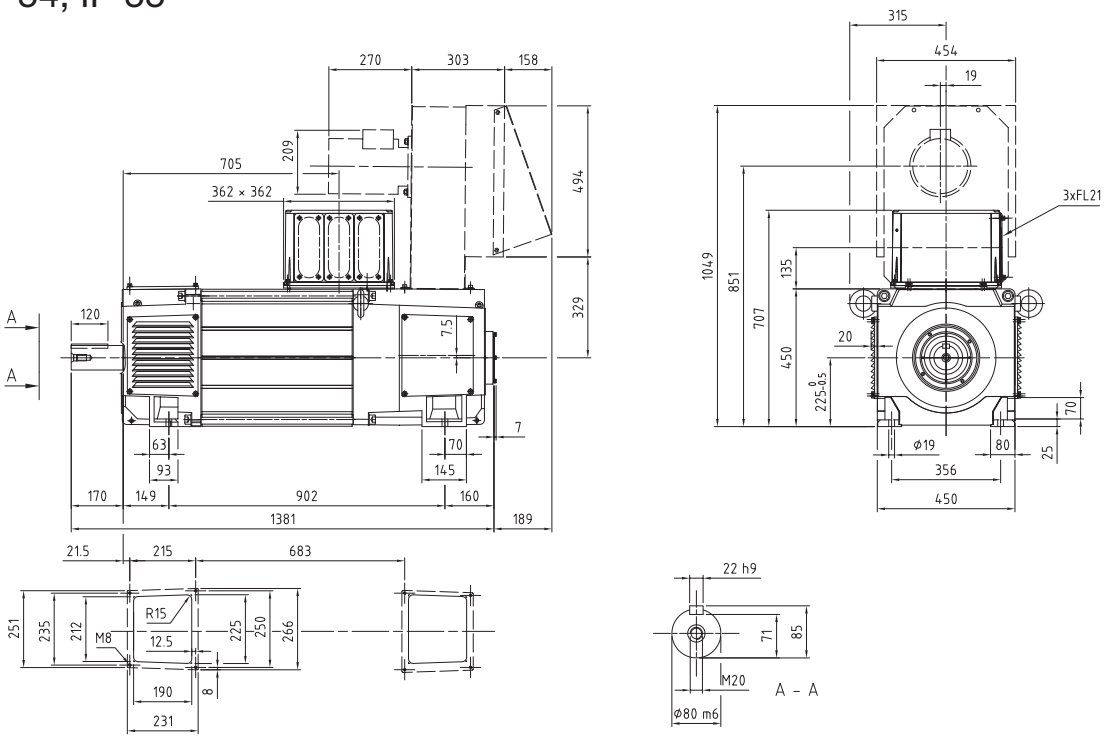
I_{max}/I_N = 180 %
T_{max}/T_N = 160 %
J = 2.6 kgm^2
n_0 = 10 min^{-1}
P_f = 3400 W
V_{diss} = 0.5 m^3/s
p_Δ = 1800 Pa
W = 860 kg
U_{fN} = 110-440 V

U_N (V) [$U_N > 1,1 \times U_{vN}$ 1)]											n_{max} (min^{-1})		2900	3400		
400	**420**	**440**	**470**	**520**	**550**	**620**	**750**	**815**	**P**	**I_N**	**T**	**η**	**n_2**	**n_3 /n_4**		**Cat. No.** **No de catalogue** **Bestellnummer**
			n (min^{-1})						(kW)	(A)	(Nm)	(%)	(min^{-1})	(min^{-1})		
626									**103**	299	1577	84,0	1844	1879	R_a = 147 mΩ L_a = 2,72 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- •••** **••• = FFA** 2) **••• = FFB** 3) **••• = FFC** 4)
	662								**109**	299	1577	84,6	1844	1985		
		697							**115**	299	1576	85,1	1844	2091		
			750						**124**	299	1574	85,9	1846	2251		
				839					**138**	298	1570	87,0	1849	2404		
					892				**146**	298	1568	87,5	1851	2406		
						1016			**166**	297	1563	88,5	1856	2412		
							1247		**203**	296	1553	89,9	1864	2423		
818									**133**	374	1556	87,0	1882	2446	R_a = 89 mΩ L_a = 1,9 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- •••** **••• = FGA** 2) **••• = FGB** 3) **••• = FGC** 4)
	863								**140**	374	1555	87,4	1882	2446		
		907							**148**	374	1555	87,8	1882	2446		
			975						**158**	373	1551	88,4	1885	2451		
				1087					**176**	372	1544	89,2	1891	2459		
					1154				**186**	371	1540	89,6	1895	2464		
						1314			**203**	356	1475	90,5	1975	2568		
1050									**172**	480	1563	87,9	2900	3149	R_a = 62 mΩ L_a = 1,16 mH U_{fN}/U_{vN} = E	**3BSM003050- •••** **••• = FHA** 2) **••• = FHB** 3) **••• = FHC** 4)
	1107								**181**	480	1563	88,3	2900	3320		
		1164							**190**	480	1562	88,6	2900	3400		
			1249						**204**	479	1557	89,1	2900	3400		
				1393					**225**	475	1542	89,8	2900	3400		
					1479				**237**	473	1533	90,1	2900	3400		
						1679			**266**	467	1512	90,7	2900	3400		
							2052		**317**	456	1474	91,5	2900	3400		
								2238	**341**	451	1454	91,8	2900	3400		
1329									**220**	604	1578	89,6	2900	3400	R_a = 38 mΩ L_a = 0,69 mH U_{fN}/U_{vN} = E	**3BSM003050- •••** **••• = FIA** 2) **••• = FIB** 3) **••• = FIC** 4)
	1400								**231**	604	1577	89,8	2900	3400		
		1470							**243**	604	1576	90,1	2900	3400		
			1577						**260**	604	1575	90,4	2900	3400		
				1755					**284**	594	1546	90,9	2900	3400		
					1862				**298**	588	1529	91,1	2900	3400		
						2112			**329**	574	1488	91,5	2900	3400		
1710									**257**	701	1436	90,6	2900	3400	R_a = 23 mΩ L_a = 0,48 mH U_{fN}/U_{vN} = E	**3BSM003050- •••** **••• = FJA** 2) **••• = FJB** 3) **••• = FJC** 4)
	1799								**270**	701	1435	90,7	2900	3400		
		1889							**283**	701	1433	90,9	2900	3400		
			2023						**303**	701	1431	91,1	2900	3400		
				2249					**324**	677	1377	91,2	2900	3400		
					2384				**336**	662	1345	91,3	2900	3400		
2026									**305**	830	1440	91,0	2900	3400	R_a = 16 mΩ L_a = 0,30 mH U_{fN}/U_{vN} = E	**3BSM003050- •••** **••• = FKA** 2) **••• = FKB** 3) **••• = FKC** 4)
	2131								**321**	830	1438	91,1	2900	3400		
		2236							**336**	830	1437	91,2	2900	3400		
			2395						**358**	827	1429	91,4	2900	3400		

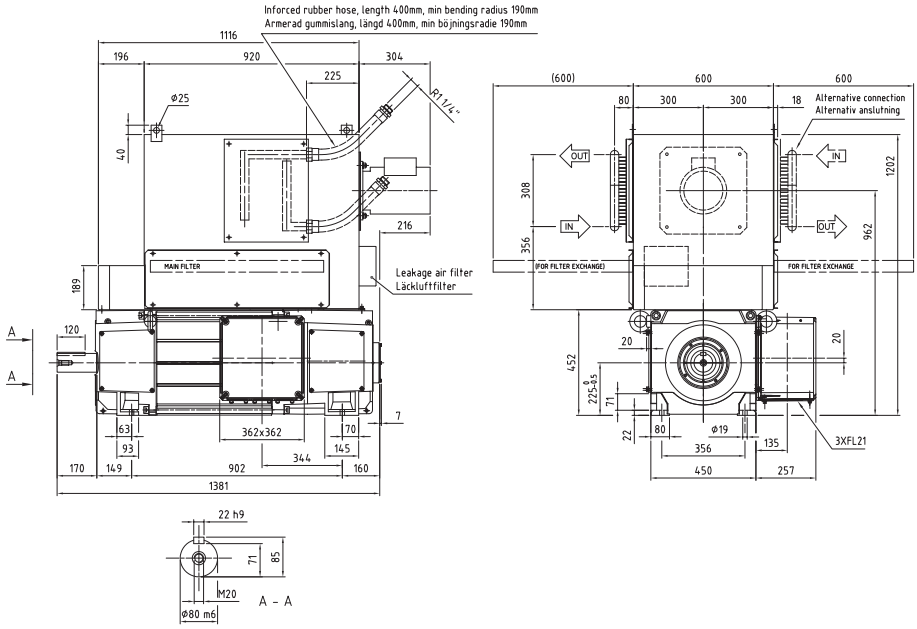
Explanation of motor data cross-references, see page 70/
Explication des références croisées des caractéristiques moteur, voir page 70/
Erklärung der Motorreferenzwerte, siehe Seite 70

Dimensions in mm
Dimensions en mm
Maße in mm

IC 06: IP 23
IC 17: IP 23
IC 37: IP 54, IP 55



IC 86 W: IP 54 / IP 55



1797 – 2044 Nm

DMI 225S

General data
Caractéristiques générales
Generelle Daten

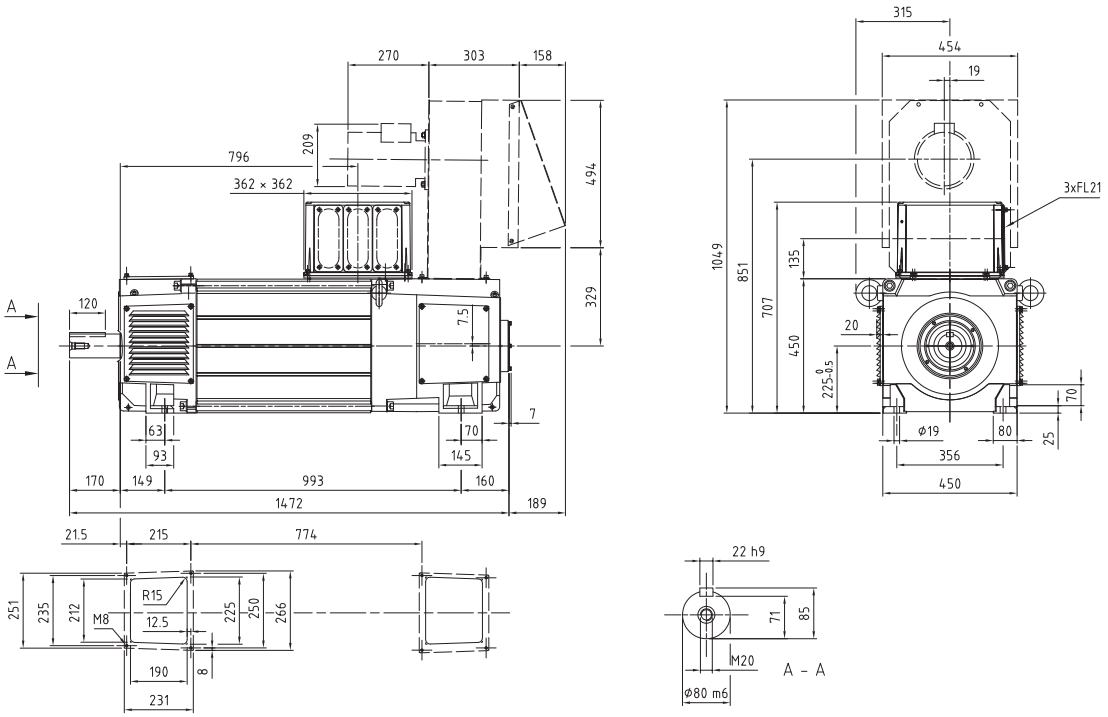
I_{max}/I_N = 180 %
T_{max}/T_N = 160 %
J = 3.0 kgm²
n_0 = 10 min⁻¹
P_f = 4650 W
V_{diss} = 0.5 m³/s
p_Δ = 1800 Pa
W = 1000 kg
U_{fN} = 110-440 V

U_N (V) *[$U_N > 1,1 \times U_{vN}$ 1)]*											n_{max} (min⁻¹)		2900	3400		**Cat. No.** **No de catalogue** **Bestellnummer**
400	**420**	**440**	**470**	**520**	**550**	**620**	**750**	**815**	**P** (kW)	**I_N** (A)	**T** (Nm)	η (%)	**n_2** (min⁻¹)	**n_3 /n_4** (min⁻¹)		
			n (min⁻¹)													
473									**101**	299	2044	81,5	1419	1419	R_a = 175 mΩ L_a = 3,35 mH U_{fN}/U_{vN} = F	**3BSM003050- •••** ••• = **EZA** 2) ••• = **EZB** 3) ••• = **EZC** 4)
	500								**107**	299	2044	82,3	1475	1501		
		528							**13**	299	2043	83,0	1475	1583		
			569						**122**	299	2042	83,9	1476	1707		
				637					**136**	299	2039	85,1	1478	1912		
					678				**145**	298	2037	85,8	1479	1922		
						774			**165**	298	2033	87,1	1481	1925		
							952		**202**	297	2025	88,8	1484	1930		
621									**131**	374	2019	85,2	1512	1863	R_a = 105 mΩ L_a = 2,33 mH U_{fN}/U_{vN} = F	**3BSM003050- •••** ••• = **FAA** 2) ••• = **FAB** 3) ••• = **FAC** 4)
	656								**139**	374	2019	85,7	1512	1966		
		690							**146**	374	2018	86,2	1512	1966		
			742						**157**	374	2016	86,9	1513	1967		
				829					**175**	373	2012	87,9	1516	1970		
					881				**185**	373	2009	88,4	1517	1972		
						1005			**202**	356	1917	89,5	1587	2063		
800									**171**	484	2043	86,4	2400	2400	R_a = 74 mΩ L_a = 1,42 mH U_{fN}/U_{vN} = B	**3BSM003050- •••** ••• = **FBA** 2) ••• = **FBB** 3) ••• = **FBC** 4)
	844								**181**	484	2042	86,8	2532	2532		
		888							**190**	484	2042	87,3	2665	2665		
			955						**203**	482	2032	87,9	2864	2864		
				1066					**225**	478	2015	88,8	2900	3197		
					1132				**238**	476	2004	89,2	2900	3397		
						1288			**267**	471	1980	90,0	2900	3400		
							1576		**319**	461	1934	91,1	2900	3400		
								1721	**345**	456	1912	91,5	2900	3400		
1016									**217**	602	2044	88,6	2900	3049	R_a = 44 mΩ L_a = 0,84 mH U_{fN}/U_{vN} = B	**3BSM003050- •••** ••• = **FCA** 2) ••• = **FCB** 3) ••• = **FCC** 4)
	1071								**229**	602	2043	89,0	2900	3213		
		1126							**241**	602	2042	89,3	2900	3377		
			1208						**258**	602	2040	89,8	2900	3400		
				1346					**283**	593	2007	90,4	2900	3400		
					1429				**297**	587	1985	90,7	2900	3400		
						1622			**328**	573	1934	91,3	2900	3400		
1314									**262**	715	1904	90,1	2900	3400	R_a = 27 mΩ L_a = 0,59 mH U_{fN}/U_{vN} = B	**3BSM003050- •••** ••• = **FDA** 2) ••• = **FDB** 3) ••• = **FDC** 4)
	1383								**276**	715	1903	90,4	2900	3400		
		1453							**289**	715	1902	90,6	2900	3400		
			1557						**310**	715	1899	90,9	2900	3400		
				1732					**333**	693	1835	91,2	2900	3400		
					1837				**346**	679	1797	91,4	2900	3400		
1556									**306**	832	1881	90,8	2900	3400	R_a = 19 mΩ L_a = 0,37 mH U_{fN}/U_{vN} = B	**3BSM003050- •••** ••• = **FEA** 2) ••• = **FEB** 3) ••• = **FEC** 4)
	1638								**322**	832	1879	91,0	2900	3400		
		1719							**338**	832	1878	91,2	2900	3400		
			1841						**361**	830	1871	91,4	2900	3400		

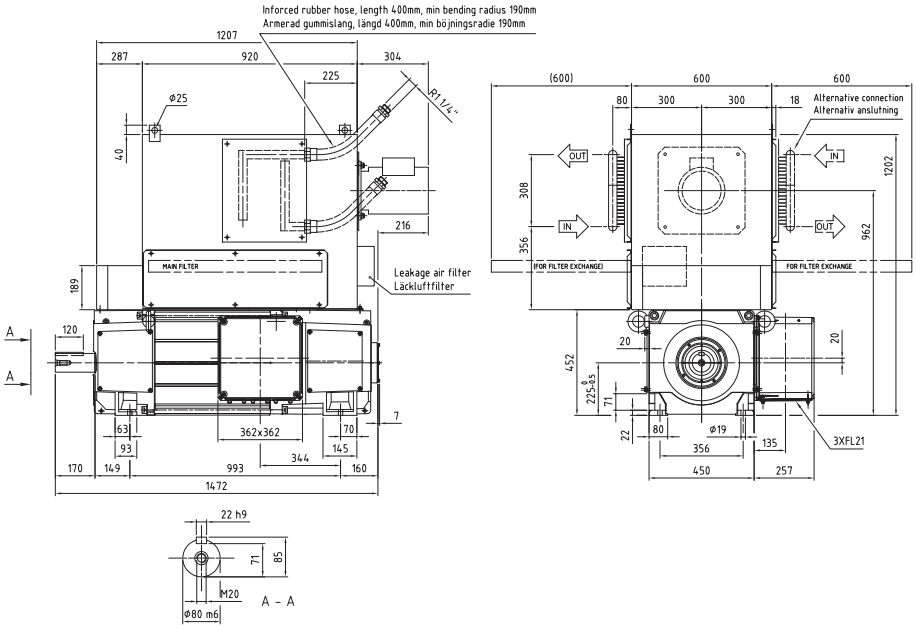
Explanation of motor data cross-references, see page 70/
Explication des références croisées des caractéristiques moteur, voir page 70/
Erklärung der Motorreferenzwerte, siehe Seite 70

Dimensions in mm
Dimensions en mm
Maße in mm

IC 06: IP 23
IC 17: IP 23
IC 37: IP 54, IP 55



IC 86 W: IP 54 / IP 55



2152 – 2427 Nm
DMI 225U

General data Caractéristiques générales Generelle Daten	I_{max}/I_N = 180 % T_{max}/T_N = 160 %	J = 3.4 kgm²	P_f = 4950 W	p_Δ = 1900 Pa	U_{fN} = 110-440 V
		n_0 = 10 min⁻¹	V_{diss} = 0.5 m³/s	W = 1160 kg	

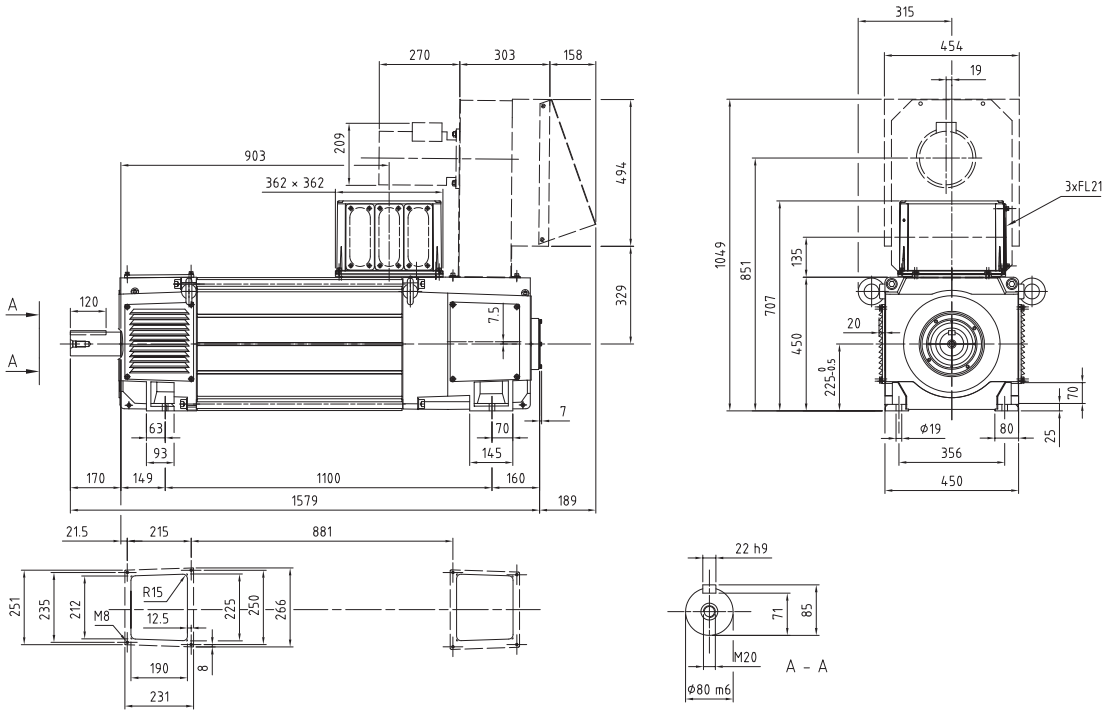
U_N (V) [$U_N > 1,1 \times U_{vN}$ 1)]									P (kW)	I_N (A)	T (Nm)	η (%)	n_2 (min⁻¹)	n_3 /n_4 (min⁻¹)		Cat. No. No de catalogue Bestellnummer
400	420	440	470	520	550	620	750	815			n_{max} (min⁻¹)		2900	3400		
			n (min⁻¹)													
392									**99**	298	2418	79,7	1175	1175	R_a = 197 mΩ L_a = 3,87 mH U_{fN}/U_{vN} = F	**3BSM003050- •••** ••• = **ESA** 2) ••• = **ESB** 3) ••• = **ESC** 4)
	415								**105**	298	2417	80,5	1244	1244		
		438							**111**	298	2416	81,3	1271	1313		
			472						**119**	298	2414	82,3	1272	1417		
				530					**134**	298	2411	83,7	1273	1590		
					565				**142**	297	2409	84,5	1273	1655		
						646			**163**	297	2405	85,9	1275	1657		
							796		**200**	296	2397	87,8	1278	1661		
516									**129**	373	2390	83,8	1309	1549	R_a = 118 mΩ L_a = 2,68 mH U_{fN}/U_{vN} = F	**3BSM003050- •••** ••• = **ETA** 2) ••• = **ETB** 3) ••• = **ETC** 4)
	545								**137**	373	2390	84,4	1309	1636		
		575							**144**	373	2389	85,0	1309	1702		
			618						**155**	373	2387	85,7	1310	1703		
				692					**173**	372	2383	86,8	1312	1705		
					735				**183**	372	2380	87,4	1313	1707		
						840			**200**	356	2277	88,6	1371	1782		
667									**168**	480	2405	85,2	2000	2000	R_a = 83 mΩ L_a = 1,64 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- •••** ••• = **EUA** 2) ••• = **EUB** 3) ••• = **EUC** 4)
	704								**177**	480	2404	85,7	2112	2112		
		741							**187**	480	2403	86,2	2223	2223		
			797						**200**	479	2398	86,9	2391	2391		
				891					**222**	476	2380	87,9	2654	2672		
					947				**235**	474	2369	88,4	2665	2841		
						1078			**264**	469	2343	89,3	2691	3234		
							1321		**318**	461	2296	90,6	2741	3400		
								1443	**343**	457	2272	91,0	2766	3400		
850									**216**	603	2427	87,8	2517	2551	R_a = 50 mΩ L_a = 0,97 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- •••** ••• = **EVA** 2) ••• = **EVB** 3) ••• = **EVC** 4)
	897								**228**	603	2426	88,2	2517	2690		
		943							**239**	603	2425	88,6	2517	2829		
			1012						**257**	602	2422	89,1	2519	3037		
				1129					**281**	593	2379	89,8	2561	3329		
					1199				**295**	587	2353	90,2	2587	3363		
						1362			**327**	573	2294	90,9	2649	3400		
1100									**262**	718	2274	89,6	2900	3300	R_a = 30 mΩ L_a = 0,68 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- •••** ••• = **EXA** 2) ••• = **EXB** 3) ••• = **EXC** 4)
	1159								**276**	718	2273	89,9	2900	3400		
		1217							**289**	718	2272	90,2	2900	3400		
			1305						**310**	718	2269	90,5	2900	3400		
				1453					**334**	696	2196	91,0	2900	3400		
					1541				**347**	683	2152	91,2	2900	3400		
1305									**306**	832	2237	90,5	2900	3400	R_a = 22 mΩ L_a = 0,43 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- •••** ••• = **EYA** 2) ••• = **EYB** 3) ••• = **EYC** 4)
	1374								**322**	832	2235	90,7	2900	3400		
		1443							**337**	832	2234	90,9	2900	3400		
			1546						**360**	830	2227	91,2	2900	3400		

5

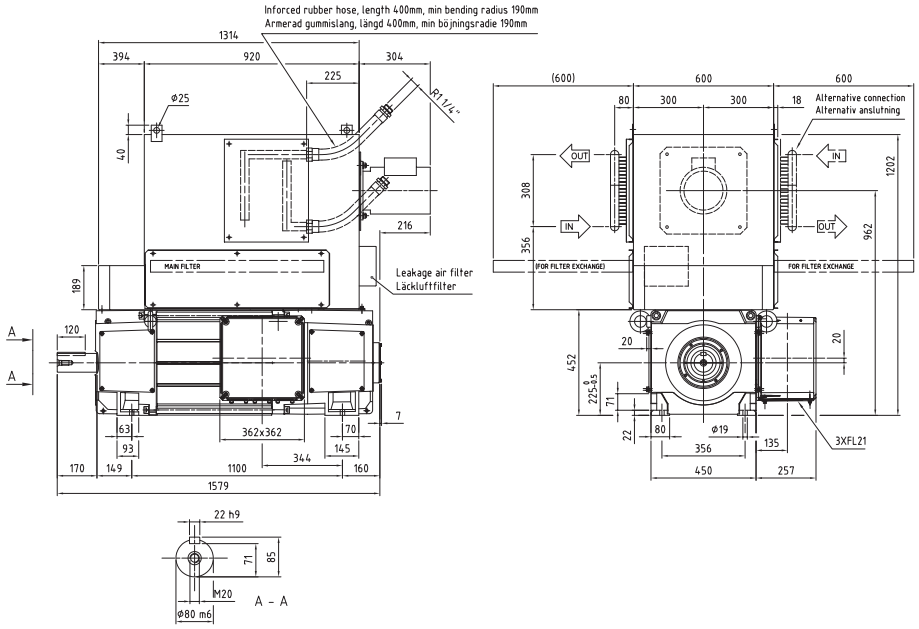
Explanation of motor data cross-references, see page 70/
Explication des références croisées des caractéristiques moteur, voir page 70/
Erklärung der Motorreferenzwerte, siehe Seite 70

Dimensions in mm
Dimensions en mm
Maße in mm

IC 06: IP 23
IC 17: IP 23
IC 37: IP 54, IP 55



IC 86 W: IP 54 / IP 55



2470 – 2781 Nm
DMI 225X

General data
Caractéristiques générales
Generelle Daten

I_{max}/I_N = 180 %
T_{max}/T_N = 160 %
J = 3.8 kgm²
n_0 = 10 min^{-1}
P_f = 5300 W
V_{diss} = 0.5 m³/s
p_Δ = 2100 Pa
W = 1340 kg
U_{fN} = 110-440 V

U_N (V) [U_N > 1,1 x U_{vN} 1)]											n_{max} (min^{-1})		2900	3000		**Cat. No.** **No de catalogue** **Bestellnummer**
400	420	440	470	520	550	620	750	815	**P** (kW)	**I_N** (A)	**T** (Nm)	η (%)	**n_2** (min^{-1})	**n_3 /n_4** (min^{-1})		
n (min^{-1})																
336									**97**	299	2762	78,0	1008	1008	R_a = 223 mΩ L_a = 4,47 mH U_{fN}/U_{vN} = F	**3BSM003050- • • •** • • • = **EMA** 2) • • • = **EMB** 3) • • • = **EMC** 4)
	356								**103**	299	2762	78,9	1069	1069		
		377							**109**	299	2762	79,8	1091	1130		
			407						**118**	299	2762	80,9	1091	1221		
				458					**132**	299	2762	82,5	1091	1373		
					488				**141**	299	2761	83,3	1091	1418		
						559			**162**	299	2761	84,9	1091	1418		
							691		**200**	299	2760	87,1	1091	1418		
445									**127**	373	2732	82,6	1129	1335	R_a = 134 mΩ L_a = 3,1 mH U_{fN}/U_{vN} = F	**3BSM003050- • • •** • • • = **ENA** 2) • • • = **ENB** 3) • • • = **ENC** 4)
	471								**135**	373	2732	83,3	1129	1412		
		496							**142**	373	2731	84,0	1130	1469		
			535						**153**	373	2729	84,8	1130	1469		
				599					**171**	372	2726	86,1	1132	1471		
					637				**182**	372	2724	86,7	1132	1472		
						729			**199**	356	2607	88,1	1182	1537		
579									**162**	466	2669	84,5	1736	1736	R_a = 94 mΩ L_a = 1,89 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- • • •** • • • = **EOA** 2) • • • = **EOB** 3) • • • = **EOC** 4)
	611								**171**	466	2668	85,1	1834	1834		
		644							**180**	466	2668	85,7	1932	1932		
			693						**193**	464	2655	86,5	2080	2080		
				776					**214**	460	2634	87,6	2327	2327		
					825				**226**	458	2621	88,1	2367	2475		
						940			**255**	453	2591	89,2	2393	2820		
							1154		**306**	444	2536	90,7	2442	3000		
								1261	**331**	439	2508	91,3	2468	3000		
738									**215**	603	2781	87,4	2152	2215	R_a = 56 mΩ L_a = 1,12 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- • • •** • • • = **EPA** 2) • • • = **EPB** 3) • • • = **EPC** 4)
	779								**227**	603	2780	87,8	2152	2337		
		820							**239**	603	2780	88,3	2152	2459		
			881						**255**	599	2763	88,9	2165	2642		
				983					**279**	589	2712	89,8	2205	2866		
					1045				**293**	582	2682	90,2	2229	2898		
						1189			**325**	567	2611	91,1	2288	2974		
956									**262**	717	2619	89,8	2561	2867	R_a = 34 mΩ L_a = 0,78 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- • • •** • • • = **EQA** 2) • • • = **EQB** 3) • • • = **EQC** 4)
	1007								**276**	717	2618	90,2	2561	3000		
		1058							**290**	717	2618	90,5	2561	3000		
			1135						**308**	710	2592	91,0	2586	3000		
				1265					**333**	690	2516	91,6	2662	3000		
					1343				**347**	678	2470	91,9	2709	3000		
1149									**307**	832	2551	90,9	2900	3000	R_a = 24 mΩ L_a = 0,50 mH U_{fN}/U_{vN} = A	**3BSM003050- • • •** • • • = **ERA** 2) • • • = **ERB** 3) • • • = **ERC** 4)
	1210								**323**	831	2548	91,2	2900	3000		
		1271							**339**	830	2545	91,5	2900	3000		
			1362						**362**	829	2540	91,8	2900	3000		

Explanation of motor data cross-references, see page 70/
Explication des références croisées des caractéristiques moteur, voir page 70/
Erklärung der Motorreferenzwerte, siehe Seite 70

Stainless Steel Hollow Sections in Construction

The austenitic stainless steel rectangular hollow section is a very useful construction material and has many structural purposes. The combination of good bending and torsional properties in the hollow section, good mechanical qualities, very good ductility in low temperatures and good corrosion resistance, gives potential for this product to be utilized for structural purposes. The austenitic stainless steel has the ability to work harden when it is cold-formed. Work hardening can be observed as enhanced values in the yield- and tensile strength, but also some decreased value in ductility. With a suitable cold-forming process the mechanical strength values can be enhanced to some degree, without decreasing the ductility significanly.

The enhanced strength values have not been fully utilized when using cold-formed hollow sections in structures, because the calculation rules have not taken into account the potential extra strength achieved as a concequence of the cold-forming. The calculation rules are mainly based on the nominal values of the strip in the annealed condition, which means that the advantages of cold-forming have not been utilised. Below in table 1 is shown the minimum guaranteed proof stress and tensile strength values of finished Stala 350 Hollow Sections. The mechanical values in higher temperatures is shown in figure 2.

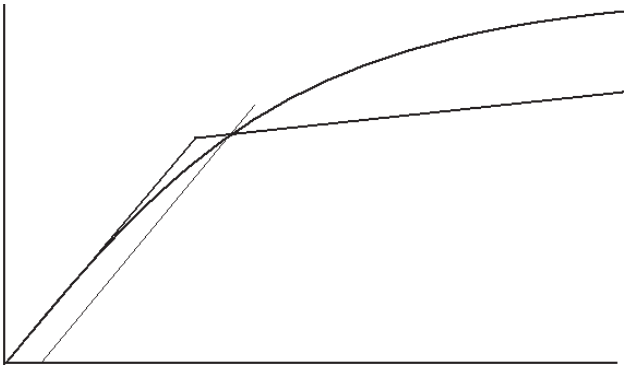


Figure 1: Schematic stress-strain curve of austenitic steel.

Table 1: The mechanical values of the strip /prENV 1993-1-4/.

Material	f_y [N/mm^2] (min)	f_u [N/mm^2] (min)	E [N/mm^2]
AISI 304	220	520	200000
AISI 304L	220	520	200000
AISI 316	240	530	200000
AISI 316L	240	530	200000
AISI 316Ti	240	530	200000

Table 2: The mechanical values of the finished Stala 350 tube.

f_y [N/mm^2] (min)	f_u [N/mm^2] (min)	Elongation [%]
350	600	30

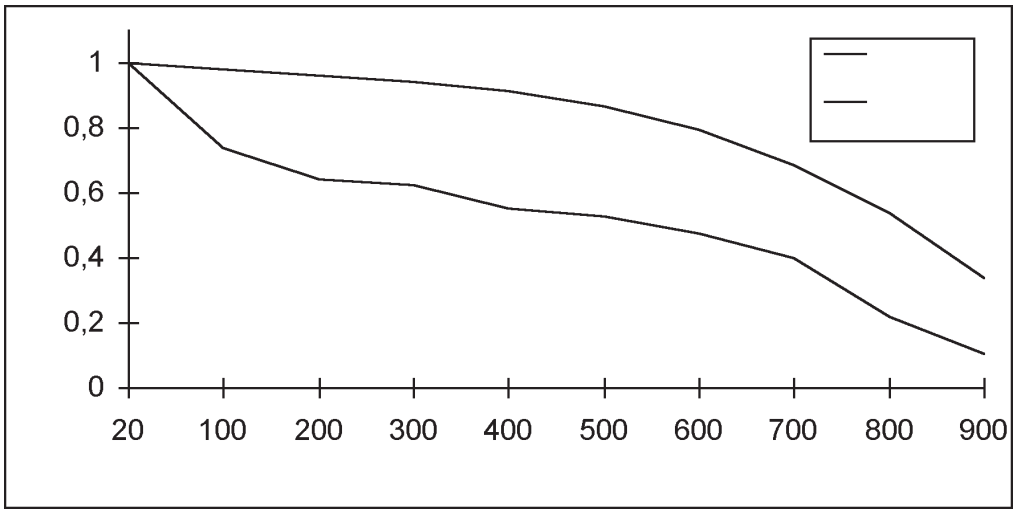


Figure 2: The relation of proof stress and E-modulus to material temperature in short term situation.

Resistance Values of Standard and Stala 350 Hollow Sections

Tables 3 and 4 show the resistance values of the profiles. The resistance values are calculated based on formulas given in Eurocode 3 part 1.4 (General rules, supplementary rules for stainless steels). The resistance value is given with material safety factor M value of 1,0.

Two strength classes are used for calculation of resistances:

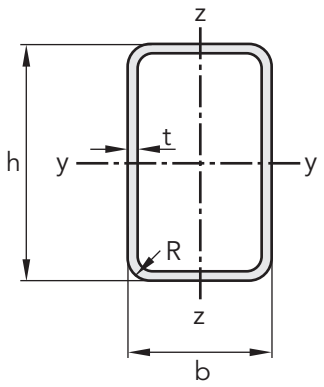
1) strength class based on yield strength fy = 220 N/mm² (Standard Stainless Steel Hollow Section).

2) strength class based on yield strength fy=350 N/nm² (Stala 350).
The values are calculated based on the yield strength values given above and the value of the elasticity modulus E of 200 000 N/mm².

Table 3

Square Hollow Section

				Standard Hollow Sections						Stala 350					
h mm	b mm	t mm	m [kg/m]	PL	A eff [mm²]	Wel [mm³] x1000	Wpl [mm³] x1000	N [kN]	My [kNm]	PL	A eff [mm²]	Wel [mm³] x1000	Wpl [mm³] x1000	N [kN]	My [kNm]
25	25	1.2	0.925	1	111	0.82	0.97	24.32	0.21	1	111	0.82	0.97	38.69	0.34
25	25	1.5	1.146	1	135	0.97	1.17	29.75	0.26	1	135	0.97	1.17	47.32	0.41
25	25	2.0	1.495	1	174	1.19	1.47	38.21	0.32	1	174	1.19	1.47	60.79	0.51
25	25	3.0	2.216	1	241	1.47	1.91	52.98	0.42	1	241	1.47	1.91	84.29	0.67
30	30	1.2	1.106	1	135	1.22	1.44	29.60	0.32	3	135	1.22	1.44	47.09	0.43
30	30	1.5	1.371	1	165	1.46	1.74	36.35	0.38	1	165	1.46	1.74	57.82	0.61
30	30	2.0	1.840	1	214	1.81	2.21	47.01	0.49	1	214	1.81	2.21	74.79	0.77
30	30	3.0	2.720	1	301	2.34	2.96	66.18	0.65	1	301	2.34	2.96	105.29	1.04
32	32	1.2	1.190	1	144	1.41	1.65	31.71	0.36	3	144	1.41	1.65	50.45	0.49
32	32	1.5	1.470	1	177	1.69	2.00	38.99	0.44	1	177	1.69	2.00	62.02	0.70
34	34	1.2	1.210	1	154	1.60	1.88	33.82	0.41	4	154	1.60	1.88	53.81	0.56
34	34	1.5	1.490	1	189	1.93	2.28	41.63	0.50	1	189	1.93	2.28	66.22	0.80
35	35	1.2	1.310	2	159	1.70	1.99	34.88	0.44	4	159	1.70	1.99	55.49	0.60
35	35	1.5	1.620	1	195	2.05	2.43	42.95	0.53	1	195	2.05	2.43	68.32	0.85
35	35	2.0	2.150	1	254	2.58	3.09	55.81	0.68	1	254	2.58	3.09	88.79	1.08
35	35	3.0	3.152	1	361	3.40	4.23	79.38	0.93	1	361	3.40	4.23	126.29	1.48
38	38	1.2	1.415	3	173	2.03	2.37	38.04	0.45	4	173	2.03	2.37	60.53	0.71
38	38	1.5	1.758	1	213	2.46	2.89	46.91	0.64	3	213	2.46	2.89	74.62	0.86
38	38	2.0	2.319	1	278	3.10	3.70	61.09	0.81	1	278	3.10	3.70	97.19	1.30
40	40	1.2	1.496	3	183	2.27	2.64	40.16	0.00	4	183	2.27	2.64	63.89	0.79
40	40	1.5	1.859	1	225	2.75	3.22	49.55	0.71	3	225	2.75	3.22	78.82	0.96
40	40	2.0	2.454	1	294	3.47	4.13	64.61	0.91	1	294	3.47	4.13	102.79	1.45
40	40	3.0	3.756	1	421	4.66	5.72	92.58	1.26	1	421	4.66	5.72	147.29	2.00
40	40	4.0	4.808	1	535	5.54	7.01	117.66	1.54	1	535	5.54	7.01	187.18	2.46
50	50	1.5	2.329	3	285	4.43	5.15	62.75	0.97	4	285	4.43	5.15	99.82	1.55
50	50	2.0	3.080	1	374	5.66	6.66	82.21	1.47	3	374	5.66	6.66	130.79	1.98
50	50	3.0	4.650	1	541	7.79	9.39	118.98	2.07	1	541	7.79	9.39	189.29	3.29
50	50	4.0	5.960	1	695	9.49	11.73	152.86	2.58	1	695	9.49	11.73	243.18	4.11
50	50	5.0	7.410	1	836	10.82	13.70	183.84	3.01	1	836	10.82	13.70	292.47	4.80
50	50	6.0	8.832	1	963	11.78	15.32	211.92	3.37	1	963	11.78	15.32	337.15	5.36
60	60	1.5	2.802	4	345	6.51	7.53	75.95	1.43	4	311	6.11	7.53	108.74	2.14
60	60	2.0	3.711	3	454	8.38	9.79	99.81	1.84	4	454	8.38	9.79	158.79	2.93
60	60	3.0	5.491	1	661	11.71	13.95	145.38	3.07	1	661	11.71	13.95	231.29	4.88
60	60	4.0	7.222	1	855	14.52	17.64	188.06	3.88	1	855	14.52	17.64	299.18	6.17
60	60	5.0	8.902	1	1036	16.83	20.88	227.84	4.59	1	1036	16.83	20.88	362.47	7.31
70	70	2.0	4.380	4	534	11.64	13.52	117.41	2.56	4	522	11.48	13.52	182.58	4.02
70	70	3.0	6.530	1	781	16.44	19.42	171.78	4.27	1	781	16.44	19.42	273.29	6.80
70	70	4.0	8.450	1	1015	20.61	24.76	223.26	5.45	1	1015	20.61	24.76	355.18	8.66
70	70	5.0	10.629	1	1236	24.18	29.56	271.84	6.50	1	1236	24.18	29.56	432.47	10.35
80	80	2.0	4.988	4	614	15.42	17.85	135.01	3.39	4	552	14.49	17.85	193.32	5.07
80	80	3.0	7.530	1	901	21.96	25.78	198.18	5.67	3	901	21.96	25.78	315.29	7.69
80	80	4.0	9.816	1	1175	27.76	33.07	258.46	7.28	1	1175	27.76	33.07	411.18	11.57
80	80	5.0	12.395	1	1436	32.86	39.74	315.84	8.74	1	1436	32.86	39.74	502.47	13.91



Example 1

For the design there has been selected a profile of dimension 150 x 150 x 6, with a weight of 27.36 kg/m. According to table 3 the compression resistance N is 739.92 kN and bending resistance My in both direction is 39.57 kNm, when yield strength of 220 N/mm² is utilized. If higher strength of 350 N/mm² is possible to utililize the profile of 150 x 150 x 5 could be used as substitute (N=992.47 kN, My=45.83 kNm) and the length weight is reduced to a value of 22.40 kg/m. The material saving is 4.96 kg/m (18 %).

Square Hollow Section

				Standard Hollow Sections						Stala 350					
h mm	b mm	t mm	m [kg/m]	PL	A eff [mm²]	Wel [mm³] x1000	Wpl [mm³] x1000	N [kN]	My [kNm]	PL	A eff [mm²]	Wel [mm³] x1000	Wpl [mm³] x1000	N [kN]	My [kNm]
80	80	6.0	14.600	1	1683	37.29	45.79	370.32	10.07	1	1683	37.29	45.79	589.15	16.03
100	100	2.0	6.400	4	693	23.03	28.30	152.41	5.07	4	594	21.12	28.30	207.95	7.39
100	100	3.0	9.530	3	1141	35.41	41.21	250.98	7.79	4	1141	35.41	41.21	399.29	12.39
100	100	4.0	12.400	1	1495	45.27	53.30	328.86	11.73	3	1495	45.27	53.30	523.18	15.84
100	100	5.0	15.380	1	1836	54.22	64.59	403.84	14.21	1	1836	54.22	64.59	642.47	22.61
100	100	6.0	17.500	1	2163	62.29	75.10	475.92	16.52	1	2163	62.29	75.10	757.15	26.29
100	100	8.0	21.600	1	2724	73.23	91.05	599.33	20.03	-	-	-	-	-	-
100	100	10.0	25.800	1	3257	82.31	105.25	716.46	23.15	-	-	-	-	-	-
120	120	3.0	11.300	4	1381	52.06	60.24	303.78	11.45	4	1243	48.91	60.24	434.97	17.12
120	120	4.0	15.030	3	1815	67.05	78.33	399.26	14.75	4	1815	67.05	78.33	635.18	23.47
120	120	5.0	18.660	1	2236	80.91	95.45	491.84	21.00	2	2236	80.91	95.45	782.47	33.41
120	120	6.0	21.200	1	2643	93.69	111.61	581.52	24.56	1	2643	93.69	111.61	925.15	39.06
120	120	8.0	26.580	1	3364	112.84	137.81	740.13	30.32	-	-	-	-	-	-
120	120	10.0	32.370	1	4057	129.54	161.82	892.46	35.60	-	-	-	-	-	-
150	150	3.0	14.064	4	1559	77.74	95.53	342.92	17.10	4	1337	71.28	95.53	467.90	24.95
150	150	4.0	18.624	4	2295	107.71	124.87	504.86	23.70	4	2152	103.67	124.87	753.35	36.29
150	150	5.0	22.400	3	2836	130.95	152.98	623.84	28.81	4	2836	130.95	152.98	992.47	45.83
150	150	6.0	27.360	1	3363	152.79	179.88	739.92	39.57	3	3363	152.79	179.88	1177.15	53.48
150	150	8.0	34.300	1	4324	188.27	225.96	951.33	49.71	-	-	-	-	-	-
150	150	10.0	41.650	1	5257	220.40	269.17	1156.46	59.22	-	-	-	-	-	-
150	150	12.5	50.570	1	6338	253.01	316.05	1394.47	69.53	-	-	-	-	-	-
200	200	4.0	24.600	4	2771	184.26	226.44	609.63	40.54	4	2377	168.95	226.44	831.82	59.13
200	200	5.0	30.800	4	3836	241.01	278.87	843.84	53.02	4	3452	226.42	278.87	1208.26	79.25
200	200	6.0	36.900	3	4563	283.27	329.67	1003.92	62.32	4	4563	283.27	329.67	1597.15	99.15
200	200	8.0	47.250	1	5924	356.64	420.86	1303.33	92.59	-	-	-	-	-	-
200	200	10.0	57.600	1	7257	425.15	508.08	1596.46	111.78	-	-	-	-	-	-
200	200	12.5	69.830	1	8838	500.03	607.32	1944.47	133.61	-	-	-	-	-	-
220	220	6.0	39.600	4	5043	346.67	402.18	1109.52	76.27	4	4796	336.41	402.18	1678.62	117.74
220	220	8.0	51.900	1	6564	438.93	515.62	1444.13	113.44	-	-	-	-	-	-
220	220	10.0	63.650	1	8057	525.72	624.65	1772.46	137.42	-	-	-	-	-	-
220	220	12.5	77.730	1	9838	622.17	750.08	2164.47	165.02	-	-	-	-	-	-
250	250	5.0	38.400	4	4330	357.75	439.57	952.55	78.70	4	3713	329.98	442.26	1299.71	115.49
250	250	6.0	45.700	4	5727	449.61	520.57	1259.86	98.91	4	5016	419.57	524.45	1755.76	146.85
250	250	8.0	59.450	3	7524	578.35	675.77	1655.33	127.24	-	-	-	-	-	-
250	250	10.0	73.500	1	9257	696.57	822.00	2036.46	180.84	-	-	-	-	-	-
250	250	12.5	89.600	1	11338	830.37	992.35	2494.47	218.32	-	-	-	-	-	-
300	300	5.0	46.200	4	4600	486.45	639.93	1011.91	107.02	4	3883	446.06	643.15	1359.07	156.12
300	300	6.0	55.300	4	6235	618.19	759.58	1371.67	136.00	4	5347	570.21	764.23	1871.59	199.57
300	300	8.0	72.800	4	9124	853.39	990.67	2007.33	187.75	-	-	-	-	-	-
300	300	10.0	89.800	3	11257	1034.65	1210.91	2476.46	227.62	-	-	-	-	-	-
300	300	12.5	109.350	1	13838	1244.05	1471.12	3044.47	323.65	-	-	-	-	-	-

Standard Hollow Sections

h mm	b mm	t mm	m kg/m	pl h	pl b	Aeff [mm²]	Wely [mm³] x 1000	Wply [mm³] x 1000	Welz [mm³] x 1000	Wplz [mm³] x 1000	N [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]	pl h	pl b
30	20	1.2	0.925	1	1	111	0.89	1.09	0.71	0.83	24.32	0.24	0.18	3	1
30	20	1.5	1.146	1	1	135	1.06	1.32	0.84	0.99	29.75	0.29	0.22	1	1
30	20	2.0	1.495	1	1	174	1.29	1.65	1.02	1.24	38.21	0.36	0.27	1	1
40	10	1.5	1.146	1	1	135	1.08	1.49	0.43	0.52	29.75	0.33	0.11	3	1
40	10	2.0	1.495	1	1	174	1.30	1.85	0.49	0.63	38.21	0.41	0.14	1	1
40	20	1.2	1.106	3	1	135	1.36	1.71	0.92	1.05	29.60	0.38	0.20	4	1
40	20	1.5	1.371	1	1	165	1.63	2.07	1.10	1.27	36.35	0.45	0.28	3	1
40	20	2.0	1.840	1	1	214	2.02	2.61	1.34	1.60	47.01	0.58	0.35	1	1
40	30	1.2	1.310	3	1	159	1.81	2.17	1.55	1.78	34.88	0.48	0.34	4	3
40	30	1.5	1.620	1	1	195	2.19	2.65	1.87	2.17	42.95	0.58	0.48	3	1
40	30	2.0	2.150	1	1	254	2.75	3.37	2.34	2.77	55.81	0.74	0.61	1	1
40	30	3.0	3.152	1	1	361	3.63	4.61	3.07	3.77	79.38	1.01	0.83	1	1
50	10	1.5	1.371	3	1	165	1.60	2.24	0.54	0.65	36.35	0.49	0.12	4	1
50	10	2.0	1.840	1	1	214	1.97	2.82	0.62	0.79	47.01	0.62	0.17	3	1
50	20	1.2	1.310	4	1	158	1.92	2.44	1.13	1.28	34.85	0.54	0.25	4	1
50	20	1.5	1.620	3	1	195	2.31	2.97	1.35	1.55	42.95	0.65	0.30	4	1
50	20	2.0	2.150	1	1	254	2.89	3.78	1.67	1.96	55.81	0.83	0.43	3	1
50	25	1.2	1.415	4	1	170	2.20	2.73	1.50	1.69	37.49	0.60	0.33	4	1
50	25	1.5	1.758	3	1	210	2.66	3.33	1.80	2.05	46.25	0.73	0.40	4	1
50	25	2.0	2.319	1	1	274	3.35	4.26	2.25	2.62	60.21	0.94	0.58	3	1
50	25	3.0	3.456	1	1	391	4.47	5.86	2.93	3.56	85.98	1.29	0.78	1	1
50	30	1.2	1.496	4	1	182	2.49	3.02	1.88	2.13	40.13	0.67	0.41	4	3
50	30	1.5	1.859	3	1	225	3.01	3.70	2.28	2.60	49.55	0.81	0.50	4	1
50	30	2.0	2.454	1	1	294	3.81	4.74	2.86	3.33	64.61	1.04	0.73	3	1
50	30	3.0	3.756	1	1	421	5.13	6.57	3.80	4.58	92.58	1.44	1.01	1	1
50	30	4.0	4.808	1	1	535	6.10	8.05	4.45	5.58	117.66	1.77	1.23	1	1
50	40	1.5	2.122	3	1	255	3.72	4.42	3.30	3.80	56.15	0.97	0.73	4	3
50	40	2.0	2.804	1	1	334	4.74	5.70	4.19	4.89	73.41	1.25	1.08	3	1
50	40	3.0	4.131	1	1	481	6.46	7.98	5.69	6.83	105.78	1.76	1.50	1	1
60	10	1.5	1.620	4	1	195	2.23	3.14	0.65	0.77	42.95	0.69	0.14	4	1
60	10	2.0	2.150	3	1	254	2.77	3.99	0.75	0.95	55.81	0.88	0.16	4	1
60	20	1.2	1.496	4	1	168	2.55	3.29	1.23	1.50	36.95	0.72	0.27	4	1
60	20	1.5	1.859	4	1	225	3.08	4.02	1.61	1.83	49.55	0.88	0.35	4	1
60	20	2.0	2.454	3	1	294	3.89	5.15	1.99	2.32	64.61	1.13	0.44	4	1
60	30	1.5	2.122	4	1	255	3.94	4.90	2.68	3.03	56.15	1.08	0.59	4	1
60	30	2.0	2.804	3	1	334	5.02	6.31	3.38	3.89	73.41	1.39	0.74	4	1
60	30	3.0	4.131	1	1	481	6.83	8.82	4.53	5.39	105.78	1.94	1.19	1	1
60	30	4.0	4.650	1	1	615	8.23	10.92	5.36	6.62	135.26	2.40	1.46	1	1
60	40	1.5	2.329	4	1	285	4.80	5.77	3.86	4.38	62.75	1.27	0.85	4	3
60	40	2.0	3.080	3	1	374	6.14	7.47	4.91	5.65	82.21	1.64	1.08	4	1
60	40	3.0	4.650	1	1	541	8.46	10.53	6.72	7.94	118.98	2.32	1.75	1	1
60	40	4.0	5.960	1	1	695	10.33	13.16	8.13	9.89	152.86	2.90	2.18	1	1
70	20	2.0	2.804	4	1	334	5.03	6.72	2.32	2.68	73.41	1.48	0.51	4	1
70	40	2.0	3.405	4	1	414	7.67	9.44	5.64	6.41	91.01	2.08	1.24	4	1
70	40	3.0	5.070	1	1	601	10.66	13.39	7.75	9.05	132.18	2.94	1.99	1	1
70	50	2.0	3.711	4	1	454	8.99	10.80	7.50	8.58	99.81	2.38	1.65	4	3
70	50	3.0	5.491	1	1	661	12.59	15.40	10.44	12.21	145.38	3.39	2.69	1	1
80	10	1.5	2.122	4	1	222	3.78	5.39	0.76	1.03	48.85	1.19	0.17	4	1
80	10	2.0	2.804	4	1	334	4.78	6.93	1.01	1.27	73.41	1.52	0.22	4	1
80	20	1.5	2.329	4	1	252	4.94	6.57	1.87	2.38	55.45	1.45	0.41	4	1
80	20	2.0	3.080	4	1	374	6.30	8.49	2.64	3.04	82.21	1.87	0.58	4	1
80	40	1.5	2.802	4	1	312	7.25	8.93	4.44	5.53	68.65	1.96	0.98	4	3
80	40	2.0	3.711	4	1	454	9.34	11.61	6.36	7.17	99.81	2.55	1.40	4	1
80	40	3.0	5.491	1	1	661	13.06	16.54	8.77	10.16	145.38	3.64	2.24	3	1
80	40	4.0	7.222	1	1	855	16.20	20.91	10.73	12.77	188.06	4.60	2.81	1	1
80	40	5.0	8.902	1	1	1036	18.78	24.74	12.28	15.02	227.84	5.44	3.31	1	1
80	50	1.5	2.964	4	3	342	8.40	10.10	5.88	7.33	75.25	1.85	1.29	4	4
80	50	2.0	4.060	4	1	494	10.86	13.17	8.42	9.54	108.61	2.90	1.85	4	3
80	50	3.0	5.928	1	1	721	15.29	18.85	11.77	13.62	158.58	4.15	3.00	3	1
80	50	4.0	7.808	1	1	935	19.09	23.95	14.58	17.25	205.66	5.27	3.79	1	1
80	50	5.0	9.469	1	1	1136	22.30	28.49	16.90	20.45	249.84	6.27	4.50	1	1
80	60	2.0	4.380	4	3	534	12.38	14.73	10.62	12.11	117.41	2.72	2.34	4	4
80	60	3.0	6.530	1	1	781	17.51	21.16	14.96	17.37	171.78	4.66	3.82	3	1
80	60	4.0	8.450	1	1	1015	21.98	26.99	18.70	22.12	223.26	5.94	4.87	1	1
80	60	5.0	10.629	1	1	1236	25.82	32.24	21.88	26.38	271.84	7.09	5.80	1	1
100	40	2.0	4.380	4	1	493	13.08	16.54	7.17	8.69	108.51	3.64	1.58	4	1
100	40	3.0	6.530	3	1	781	18.47	23.75	10.83	12.38	171.78	5.22	2.38	4	1

Stala 350

Aeff [mm²]	Wely [mm³] x 1000	Wply [mm³] x 1000	Welz [mm³] x 1000	Wplz [mm³] x 1000	N [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
111	0.89	1.09	0.71	0.83	38.69	0.38	0.25
135	1.06	1.32	0.84	0.99	47.32	0.46	0.35
174	1.29	1.65	1.02	1.24	60.79	0.58	0.43
135	1.08	1.49	0.43	0.52	47.32	0.52	0.15
174	1.30	1.85	0.49	0.63	60.79	0.65	0.22
135	1.36	1.71	0.92	1.05	47.09	0.60	0.32
165	1.63	2.07	1.10	1.27	57.82	0.72	0.38
214	2.02	2.61	1.34	1.60	74.79	0.91	0.56
159	1.81	2.17	1.55	1.78	55.49	0.64	0.54
195	2.19	2.65	1.87	2.17	68.32	0.93	0.65
254	2.75	3.37	2.34	2.77	88.79	1.18	0.97
361	3.63	4.61	3.07	3.77	126.29	1.61	1.32
165	1.60	2.24	0.54	0.65	57.82	0.78	0.19
214	1.97	2.82	0.62	0.79	74.79	0.99	0.22
144	1.92	2.44	1.03	1.28	50.47	0.85	0.36
195	2.31	2.97	1.35	1.55	68.32	1.04	0.47
254	2.89	3.78	1.67	1.96	88.79	1.32	0.58
156	2.20	2.73	1.36	1.69	54.67	0.96	0.48
210	2.66	3.33	1.80	2.05	73.57	1.17	0.63
274	3.35	4.26	2.25	2.62	95.79	1.49	0.79
391	4.47	5.86	2.93	3.56	136.79	2.05	1.25
168	2.49	3.02	1.72	2.13	58.87	0.87	0.60
225	3.01	3.70	2.28	2.60	78.82	1.29	0.80
294	3.81	4.74	2.86	3.33	102.79	1.66	1.00
421	5.13	6.57	3.80	4.58	147.29	2.30	1.60
535	6.10	8.05	4.45	5.58	187.18	2.82	1.95
255	3.72	4.42	3.30	3.80	89.32	1.30	1.16
334	4.74	5.70	4.19	4.89	116.79	2.00	1.47
481	6.46	7.98	5.69	6.83	168.29	2.79	2.39
178	2.23	3.14	0.59	0.77	62.28	1.10	0.21
254	2.77	3.99	0.75	0.95	88.79	1.40	0.26
150	2.55	3.29	1.10	1.50	52.57	1.15	0.38
208	3.08	4.02	1.48	1.83	72.78	1.41	0.52
294	3.89	5.15	1.99	2.32	102.79	1.80	0.70
238	3.94	4.90	2.48	3.03	83.28	1.71	0.87
334	5.02	6.31	3.38	3.89	116.79	2.21	1.18
481	6.83	8.82	4.53	5.39	168.29	3.09	1.89
615	8.23	10.92	5.36	6.62	215.18	3.82	2.32
268	4.80	5.77	3.59	4.38	93.78	1.68	1.26
374	6.14	7.47	4.91	5.65	130.79	2.61	1.72
541	8.46	10.53	6.72	7.94	189.29	3.69	2.78
695	10.33	13.16	8.13	9.89	243.18	4.61	3.46
328	5.03	6.72	2.27	2.68	114.69	2.35	0.80
408	7.67	9.44	5.55	6.41	142.69	3.30	1.94
601	10.66	13.39	7.75	9.05	210.29	4.69	3.17
448	8.99	10.80	7.39	8.58	156.69	3.15	2.59
661	12.59	15.40	10.44	12.21	231.29	5.39	4.27
193	3.78	5.39	0.66	1.03	67.41	1.89	0.23
303	4.78	6.93	0.92	1.27	106.06	2.42	0.32
223	4.94	6.57	1.65	2.38	77.91	2.30	0.58
343	6.30	8.49	2.42	3.04	120.06	2.97	0.85
283	7.25	8.93	3.97	5.53	98.91	2.54	1.39
423	9.34	11.61	5.89	7.17	148.06	4.06	2.06
661	13.06	16.54	8.77	10.16	231.29	5.79	3.07
855	16.20	20.91	10.73	12.77	299.18	7.32	4.47
1036	18.78	24.74	12.28	15.02	362.47	8.66	5.26
313	8.40	10.10	5.29	7.33	109.41	2.94	1.85
463	10.86	13.17	7.83	9.54	162.06	3.80	2.74
721	15.29	18.85	11.77	13.62	252.29	6.60	4.12
935	19.09	23.95	14.58	17.25	327.18	8.38	6.04
1136	22.30	28.49	16.90	20.45	397.47	9.97	7.16
503	12.38	14.73	9.92	12.11	176.06	4.33	3.47
781	17.51	21.16	14.96	17.37	273.29	7.41	5.24
1015	21.98	26.99	18.70	22.12	355.18	9.45	7.74
1236	25.82	32.24	21.88	26.38	432.47	11.28	9.23
444	13.08	16.54	6.39	8.69	155.37	5.79	2.24
781	18.47	23.75	10.83	12.38	273.29	8.31	3.79

Table 4

Rectancular Hollow Section

The properties shown in tables 3 and 4 are as follows:

- h profile height
- b profile width
- t material thickness
- m profile mass per length
- pl class of cross section
- Aeff profile effective cross-sectional area in compression
- Wy profile section modulus in y-axis
- Wz profile section modulus in z-axis
- Wel,y profile elastic modulus in y-axis
- Wpl,y profile plastic modulus in y-axis
- Wel,z profile elastic modulus in z-axis
- N profile compression resistance based on effective cross-section without buckling
- My profile moment resistance in y-axis based on the effective cross section or the elastic modulus
- Mz profile moment resistance in z-axis based on the effective cross section or the elastic modulus

When calculating the cross sectional values the corner outside R is
2,0 x material thickness, when thickness < 6mm
2,5 x material thickness, when thickness > 6mm

The resistance values shown in tables 3 and 4 can be used to estimate resistance to carry the loading opposed to it. The two strengths give a possibility to make a comparison if the higher strength gives some advantage in the structure´s weight by reducing the material thickness or outside dimensions.

Standard Hollow Sections

h mm	b mm	t mm	m kg/m	pl h	pl b	Aeff [mm²]	Wely [mm³] x 1000	Wply [mm³] x 1000	Welz [mm³] x 1000	Wplz [mm³] x 1000	N [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]	pl h	pl b
100	40	4.0	8.450	1	1	1015	23.14	30.26	13.33	15.65	223.26	6.66	3.44	3	1
100	40	5.0	10.629	1	1	1236	27.12	36.09	15.35	18.52	271.84	7.94	4.08	1	1
100	50	2.0	4.680	4	1	533	15.00	18.50	9.47	11.46	117.31	4.07	2.08	4	3
100	50	3.0	6.950	3	1	841	21.29	26.66	14.42	16.44	184.98	5.86	3.17	4	1
100	50	4.0	9.090	1	1	1095	26.83	34.10	17.97	20.93	240.86	7.50	4.60	3	1
100	50	5.0	11.240	1	1	1336	31.64	40.84	20.96	24.95	293.84	8.99	5.49	1	1
100	50	6.0	13.490	1	1	1563	35.75	46.90	23.43	28.52	343.92	10.32	6.27	1	1
100	60	2.0	4.988	4	3	573	16.92	20.46	11.91	14.43	126.11	3.72	2.62	4	4
100	60	3.0	7.530	3	1	901	24.11	29.57	18.21	20.79	198.18	6.51	4.01	4	1
100	60	4.0	9.816	1	1	1175	30.52	37.94	22.89	26.60	258.46	8.35	5.85	3	1
100	60	5.0	12.395	1	1	1436	36.15	45.59	26.93	31.88	315.84	10.03	7.01	1	1
100	60	6.0	14.600	1	1	1683	41.06	52.54	30.38	36.64	370.32	11.56	8.06	1	1
100	80	2.0	5.624	4	4	653	20.76	24.38	17.19	20.97	143.71	4.57	3.78	4	4
100	80	3.0	8.388	3	1	1021	29.76	35.39	26.41	30.40	224.58	7.79	5.81	4	3
100	80	4.0	11.050	1	1	1335	37.89	45.62	33.54	39.15	293.66	10.04	8.61	3	1
100	80	5.0	13.750	1	1	1636	45.19	55.09	39.90	47.24	359.84	12.12	10.39	1	1
100	80	6.0	16.220	1	1	1923	51.68	63.82	45.52	54.67	423.12	14.04	12.03	1	1
120	40	2.0	4.988	4	1	515	17.34	22.28	7.66	10.21	113.26	4.90	1.69	4	1
120	40	3.0	7.530	4	1	901	24.67	32.16	12.88	14.60	198.18	7.07	2.83	4	1
120	40	4.0	9.816	3	1	1175	31.15	41.21	15.93	18.53	258.46	9.07	3.50	4	1
120	40	5.0	12.395	1	1	1436	36.80	49.45	18.42	22.02	315.84	10.88	4.85	2	1
120	60	2.0	5.624	4	3	595	21.99	27.00	12.71	16.75	130.86	4.84	2.80	4	4
120	60	3.0	8.388	4	1	1021	31.52	39.18	21.46	24.21	224.58	8.62	4.72	4	1
120	60	4.0	11.050	3	1	1335	40.12	50.49	27.07	31.08	293.66	11.11	5.96	4	1
120	60	5.0	13.750	1	1	1636	47.83	60.95	31.98	37.38	359.84	13.41	8.22	2	1
120	60	6.0	16.220	1	1	1923	54.67	70.57	36.22	43.12	423.12	15.53	9.49	1	1
120	80	2.0	6.400	4	4	675	26.63	31.72	18.32	24.09	148.46	5.86	4.03	4	4
120	80	3.0	9.530	4	1	1141	38.37	46.20	30.86	35.02	250.98	10.16	6.79	4	3
120	80	4.0	12.400	3	1	1495	49.10	59.77	39.32	45.23	328.86	13.15	8.65	4	1
120	80	5.0	15.380	1	1	1836	58.86	72.45	46.93	54.74	403.84	15.94	12.04	2	1
120	80	6.0	17.500	1	1	2163	67.68	84.25	53.74	63.55	475.92	18.54	13.98	1	1
150	50	3.0	9.530	4	1	1050	39.81	51.43	19.28	23.49	230.95	11.31	4.24	4	1
150	50	4.0	12.400	4	1	1495	50.85	66.47	26.44	30.13	328.86	14.62	5.82	4	1
150	50	5.0	15.380	3	1	1836	60.84	80.48	31.12	36.20	403.84	17.71	6.84	4	1
150	100	3.0	11.664	4	3	1350	61.42	73.48	45.92	55.76	296.95	13.51	10.10	4	4
150	100	4.0	15.424	4	1	1895	79.28	95.67	63.71	72.50	416.86	21.05	14.02	4	3
150	100	5.0	18.800	3	1	2336	95.89	116.73	76.79	88.34	513.84	25.68	16.89	4	1
150	100	6.0	22.560	1	1	2763	111.29	136.68	88.82	103.30	607.92	30.07	22.73	3	1
150	100	8.0	27.900	1	1	3524	138.57	173.31	109.85	130.63	775.33	38.13	28.74	-	-
150	100	10.0	33.650	1	1	4257	161.38	205.67	127.10	154.61	936.46	45.25	34.01	-	-
160	80	3.0	11.300	4	1	1248	57.98	71.41	35.51	44.26	274.58	15.71	7.81	4	3
160	80	4.0	15.030	4	1	1815	74.71	92.86	50.88	57.39	399.26	20.43	11.19	4	1
160	80	5.0	18.660	3	1	2236	90.21	113.16	61.01	69.74	491.84	24.90	13.42	4	1
160	80	6.0	21.200	1	1	2643	104.50	132.32	70.19	81.31	581.52	29.11	17.89	3	1
200	100	3.0	14.064	4	3	1422	92.43	113.25	50.53	70.31	312.89	20.34	11.12	4	4
200	100	4.0	18.624	4	1	2133	119.97	148.04	75.73	91.70	469.24	32.57	16.66	4	3
200	100	5.0	22.400	4	1	2836	145.93	181.37	99.37	112.09	623.84	39.90	21.86	4	1
200	100	6.0	27.360	3	1	3363	170.33	213.27	115.35	131.50	739.92	46.92	25.38	4	1
200	100	8.0	34.300	1	1	4324	214.62	272.79	143.75	167.43	951.33	60.01	36.83	-	-
200	100	10.0	41.650	1	1	5257	253.10	326.73	167.69	199.61	1156.46	71.88	43.91	-	-
250	150	5.0	30.800	4	3	3561	264.33	319.76	186.01	225.48	783.47	58.15	40.92	4	4
250	150	6.0	36.900	4	1	4530	310.85	378.05	235.59	266.28	996.49	83.17	51.83	4	3
250	150	8.0	47.250	3	1	5924	397.78	489.07	300.00	343.71	1303.33	107.60	66.00	-	-
250	150	10.0	57.600	1	1	7257	476.82	592.79	357.61	415.67	1596.46	130.41	91.45	-	-
250	150	12.5	69.850	1	1	8838	564.90	712.37	420.76	498.11	1944.47	156.72	109.58	-	-
300	100	5.0	30.800	4	1	3196	271.01	348.15	119.65	159.59	703.15	76.59	26.32	4	1
300	100	6.0	36.900	4	1	4168	318.45	411.43	154.25	187.90	917.00	90.51	33.93	4	1
300	100	8.0	47.250	4	1	5924	406.82	531.75	211.55	241.03	1303.33	116.98	46.54	-	-
300	100	10.0	57.600	3	1	7257	486.70	643.86	248.85	289.61	1596.46	141.65	54.75	-	-
300	200	6.0	45.700	4	3	5368	491.35	587.83	367.35	446.07	1181.00	108.10	80.82	4	4
300	200	8.0	59.450	4	1	7524	634.24	765.35	509.66	579.99	1655.33	168.38	112.13	-	-
300	200	10.0	73.500	3	1	9257	767.15	933.86	614.35	706.73	2036.46	205.45	135.16	-	-
300	200	12.5	89.600	1	1	11338	919.64	1131.99	733.34	855.24	2494.47	249.04	188.15	-	-
400	200	6.0	55.300	4	3	5658	739.47	905.99	403.90	562.47	1244.77	162.68	88.86	4	4
400	200	8.0	72.800	4	1	8477	959.76	1184.31	605.83	733.59	1864.88	260.55	133.28	-	-
400	200	10.0	89.800	4	1	11257	1167.40	1450.98	794.93	896.73	2476.46	319.22	174.88	-	-
400	200	12.5	109.350	3	1	13838	1409.55	1768.13	953.22	1089.61	3044.47	388.99	209.71	-	-

Stala 350

Aeff [mm²]	Wely [mm³] x 1000	Wply [mm³] x 1000	Welz [mm³] x 1000	Wplz [mm³] x 1000	N [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
1015	23.14	30.26	13.33	15.65	355.18	10.59	4.67
1236	27.12	36.09	15.35	18.52	432.47	12.63	6.48
484	15.00	18.50	8.49	11.46	169.37	5.25	2.97
841	21.29	26.66	14.42	16.44	294.29	9.33	5.05
1095	26.83	34.10	17.97	20.93	383.18	11.93	6.29
1336	31.64	40.84	20.96	24.95	467.47	14.29	8.73
1563	35.75	46.90	23.43	28.52	547.15	16.42	9.98
524	16.92	20.46	10.73	14.43	183.37	5.92	3.75
901	24.11	29.57	18.21	20.79	315.29	10.35	6.37
1175	30.52	37.94	22.89	26.60	411.18	13.28	8.01
1436	36.15	45.59	26.93	31.88	502.47	15.96	11.16
1683	41.06	52.54	30.38	36.64	589.15	18.39	12.82
573	19.60	24.38	15.63	20.97	200.64	6.86	5.47
1021	29.76	35.39	26.41	30.40	357.29	10.42	9.24
1335	37.89	45.62	33.54	39.15	467.18	15.97	11.74
1636	45.19	55.09	39.90	47.24	572.47	19.28	16.53
1923	51.68	63.82	45.52	54.67	673.15	22.34	19.13
457	17.34	22.28	6.73	10.21	160.12	7.80	2.36
832	24.67	32.16	11.86	14.60	291.13	11.25	4.15
1175	31.15	41.21	15.93	18.53	411.18	14.42	5.57
1436	36.80	49.45	18.42	22.02	502.47	17.31	7.71
537	21.99	27.00	11.29	16.75	188.12	7.70	3.95
952	31.52	39.18	19.87	24.21	333.13	13.71	6.96
1335	40.12	50.49	27.07	31.08	467.18	17.67	9.48
1636	47.83	60.95	31.98	37.38	572.47	21.33	13.08
1923	54.67	70.57	36.22	43.12	673.15	24.70	15.09
587	25.26	31.72	16.45	24.09	205.39	8.84	5.76
1072	38.37	46.20	28.73	35.02	375.13	13.43	10.05
1495	49.10	59.77	39.32	45.23	523.18	20.92	13.76
1836	58.86	72.45	46.93	54.74	642.47	25.36	19.16
2163	67.68	84.25	53.74	63.55	757.15	29.49	22.24
939	39.81	51.43	17.11	23.49	328.59	18.00	5.99
1424	50.85	66.47	25.14	30.13	498.27	23.26	8.80
1836	60.84	80.48	31.11	36.20	642.47	28.17	10.89
1239	61.42	73.48	41.48	55.76	433.59	21.50	14.52
1824	79.28	95.67	60.99	72.50	638.27	27.75	21.35
2336	95.89	116.73	76.79	88.34	817.47	40.86	26.88
2763	111.29	136.68	88.82	103.30	967.15	47.84	31.09
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
1130	57.98	71.41	31.69	44.26	395.63	20.29	11.09
1692	74.71	92.86	47.11	57.39	592.23	32.50	16.49
2236	90.21	113.16	61.01	69.74	782.47	39.61	21.35
2643	104.50	132.32	70.19	81.31	925.15	46.31	24.57
1284	92.43	113.25	44.74	70.31	449.54	32.35	15.66
1936	119.97	148.04	67.82	91.70	677.50	41.99	23.74
2644	145.93	181.37	92.01	112.09	925.36	63.48	32.20
3363	170.33	213.27	115.35	131.50	1177.15	74.64	40.37
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
3253	264.33	319.76	167.42	225.48	1138.58	92.52	58.60
4174	310.85	378.05	214.89	266.28	1461.05	108.80	75.21
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
2838	271.01	348.15	104.96	159.59	993.26	121.85	36.74
3724	318.45	411.43	136.77	187.90	1303.55	144.00	47.87
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
4924	491.35	587.83	331.68	446.07	1723.55	171.97	116.09
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
5107	739.47	905.99	357.17	562.47	1787.33	258.81	125.01
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-

Table 4

Rectancular Hollow Section

Example 2

For the design there has been selected a profile of dimension 200 x 100 x 10, with a weight of 41.65 kg/m. According to table 4 the compression resistance N is 1156.46 kN and bending resistance My is 71.88 kNm, when yield strength of 220 N/mm² is utilized. If higher strength of 350 N/mm² is possible to utililize the profile of 200 x 100 x 6 could be used as substitute (N=1177.15 kN, My=74.64 kNm) and the length weight is reduced to a value of 27.36 kg/m. The material saving is 14.29 kg/m (36 %).

Stalatube (formerly Stala Oy) was awarded the Quality Prize of the Finnish Society for Quality in 1990 and the Finnish Quality Prize in 1991, in recognition of its investments in the quality of its products and services.

Stalatube conducts research and produces new information on ways in which hollow sections can be used in various types of construction.

Stalatube Products

Manufacture of Stalatube hollow sections

Stalatube hollow sections are made in Finland at the factory in Lahti. The tubes and sections are manufactured from a high-quality stainless steel strip by roll-forming and longitudinal welding. The welding is done automatically using the TIG or the TIG/Plasma technique, and the welds are checked by an eddy current method. The welded joint in the hollow section is located in the centre of the narrower face.

Basic range

The basic Stalatube range comprises square and rectangular stainless steel hollow sections, made from different material grades and utilizing state-of-the-art production technology. The options for their further processing are varied.

Heavy hollow sections

The production line manufacturing square and rectangular stainless hollow sections by continuous forming is among the worlds largest, and extends the Stalatube product range as follows:

Maximum dimensions:
- square sections, max. 300 × 300 × 12,5 mm
- rectangular sections, max. 400 × 200 × 12,5 mm

The heavy dimensions suit the needs of building projects of various types and, in addition, the heavy engineering industry, food and process industry and offshore construction, for example.

Extra-strong Stala 350 (pat.)

Stala 350 gives more durability with a smaller quantity of steel. The durability of the hollow section is based on the gradual cold forming of the stainless steel plate. This manufacturing method, which substantially increases the yield strength and breaking strength of the stainless hollow section, was patented in 1997.

The Stala 350 Construction Handbook helps users to achieve the maximum technical and economic benefit from the strength properties of Stala 350 (pat.).

Stalatube Services

Service based on the customers needs

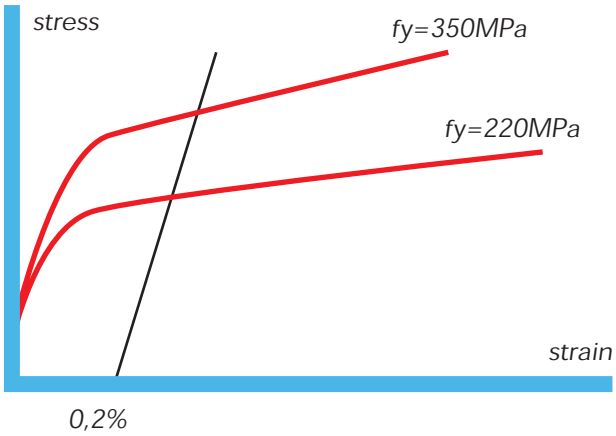
Stalatube's position is the vanguard of quality development in its sector and has been achieved through the commitment of the whole company to continual improvement of products and services. Its sales service operates in real time - for example, as a rule, an order confirmation is sent to the customer within 24 hours of receiving the order.

Stalatube has a world-wide, efficient distribution network and its products are exported to about 40 countries.

Long-term quality work

Stalatubes quality system, conforming to the ISO 9002 Standard, was certified in 1991. Our commitment to quality thinking and development is our strategic choice, made nearly 30 years ago. We are carrying out a multiphase *six sigma* quality improvement training, based on the QS 9000 system and covering the entire personnel of the company. The primary goal of this is to produce even better products for the customer at an even more competitive price.

Stalatube R&D



The results of strength studies contribute to the rated strength of the Stala 350 hollow section, fy=350N/mm², which has been approved for use in buildings in accordance with Standard No. 6 / 1997 of the Finnish Constructional Steelwork Association TRY and the official authorization granted by the German body Deutsches Institut für Bautechnik (the Ü mark and Zulassung Z-30.3-6).

Stainless steel is a corrosion-resistant, hygienic choice of construction material and - in the light of lifespan assessment - an economical alternative.

Thanks to the additional, heavier dimensions, it can now be used in an even greater variety of structures than before.

Strength studies

Stalatube has conducted research in Finland on the strength properties of its hollow sections, in cooperation with Lappeenranta University of Technology and the Technical Research Centre of Finland VTT (Building Technology Department). The study findings show that the work hardening of austenitic stainless steel, in connection with the manufacturing of the hollow sections, can safely be taken into account in structural design, because the strength values have increased permanently.

The strength characteristics of Stalatube hollow sections are thus higher than those of conventional ones and can be utilized to achieve structural advantages and material savings.

Studies on the fire resistance of constructions

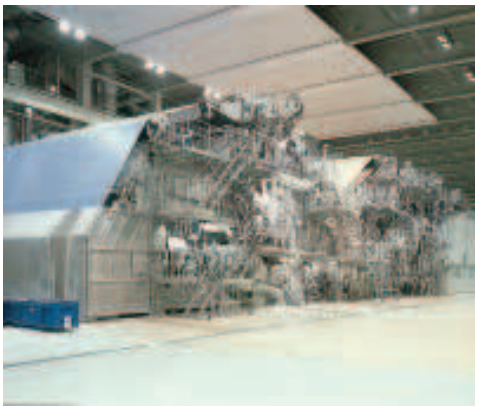
Research work has proved that the fire resistance properties of structures using Stalatube hollow sections are considerably better than those of carbon steel. Stalatube hollow sections can be used to build constructions that meet the Finnish Class R30 fire resistance requirements, without any additional fire protection (Standard No. 10 / 1999).

Stala hollow sections are competitive in price as compared with a fire-protected carbon steel structure. Moreover, a stainless steel surface withstands impact and wear better than a surface that is painted or protected in some other way.

STALA TUBE

References

Double-facade structures of the Nokia building.



The catwalks of Valmet paper machines are made from Stalatube because it is durable, light and maintenance-free.

Stalatube hollow sections have been used in the load-bearing structures of covered walkways at the major Finnish broadcasting company YLE. ▲▶

In Finland:

- the double-facade structures of the Nokia building
- catwalks for Valmet paper machines
- chassis structures for Kabus buses and coaches

In Sweden:

- packaging machines for Tetra-Pak
- noise suppression structures for Hedemora Industriakustik

In Germany:

- frame structures for beer bottling machines
- the glass-wall structures of the Austrian Embassy in Berlin

In Austria:

- bearing structures of the entrance hall in a Vienna underground station

Technical Data

Material grades

- EN 1.4301 / AISI 304
- EN 1.4571 / AISI 316 Ti
- EN 1.4404 / AISI 316 L
  (also available as STALA 350 grade).
  High-alloy austenitic steels to special order.
- 1,2 mm and 1,5 mm cold-rolled steel and
  ⩾ 2,0 mm hot-rolled steel

Surface finish grades

- hot- or cold-rolled (lightly brushed)
- standard polished finish, Grit 220 or 320
  (note: corners not polished)
- polished finish between Grit 80 and 500 to order
- pickled finish

Tolerances

Dimension		Tolerance
External dimensions h, b	h,b < 100 mm	±1 %
	100 mm ⩽ h,b ⩽ 200 mm	±0,8 %
	200 mm < h,b ⩽ 400 mm	±0,6 %
Thickness	t < 5 mm	±10 %
	t ⩾ 5 mm	0,5 mm
Squareness		90°±1°
Side convexity × 1		max. 0,8 %
Side concavity × 2		min. 0,5 mm
External corner radius R	t ⩽ 6 mm	(1,6 – 2,4) × t
	t > 6 mm	(2,4 – 3,6) × t
Straightness		max. 0,15 %
Twist V		2mm+0,5mm/m
Length l	⩽ 5000 mm	+5 mm/– 0 mm
Length l	> 5000 mm	+15 mm/– 0 mm

Dimensions of hollow sections:

- wall thickness 1,2 to 12,5 mm
- square hollow sections 25 × 25 mm to 300 × 300 mm
- rectangular hollow sections 30 × 20 mm to 400 × 200 mm
- thick-wall, small-dimension sections,
  e.g. 50 × 50 mm × 6,0 mm, to order

Prefabrication

- cutting to required length
- cutting to required angle
- polishing to required surface finish
- pickling to improve corrosion resistance

Section length

Stock length 6 metres, also other required lengths to order.

Materials certificates

We supply materials certificates on request, in accordance with the standard EN 50049/3.1.B or ASTM A554.

Packing Info

Packaging materials

- Lightly brushed hollow sections are supplied in bundles secured with plastic straps.
- Polished and surface-treated hollow sections are individually packaged in plastic, then bundled and secured with plastic straps.
- To finish with, all bundles are wrapped in plastic. The packaging materials are recyclable.

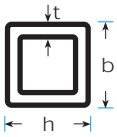
The structures of drying plants of various types have to withstand continual temperature variations year after year. The stress resistance of Stalatube is in a class by itself compared with that of traditional materials.

Bundle sizes

Section size	Total length (m)	Pcs
Square hollow sections		
25×25×1,2...40×40×2,0	600	10×10 = 100
40×40×3,0...60×60×4,0	216	6×6 = 36
60×60×5,0...80×80×4,0	150	5×5 = 25
80×80×5,0...100×100×5,0	96	4×4 = 16
100×100×6,0...150×150×6,0	54	3×3 = 9
Rectangular hollow sections		
30×20×1,2...60×30×2,0	588	7×14 = 98
60×30×3,0...80×40×4,0	216	4×9 = 36
80×40×5,0...120×60×4,0	126	3×7 = 21
120×60×5,0...120×80×5,0	108	3×6 = 18
120×80×6,0...200×100×6,00	48	2×4 = 8

Heavy section sizes can be bundled as required.

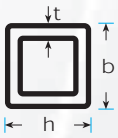
STALA TUBE Hollow Sections



h mm	b mm	t mm	A mm^2	m kg/m	Iy,z mm^4 ×10000	Wy,z mm^3 ×1000	i y,z mm	Iv mm^4 ×10000	Wv mm^3 ×1000
25	25	1,20	111	0,925	1,03	0,82	9,6	1,66	1,24
25	25	1,50	135	1,146	1,22	0,97	9,5	2,01	1,47
25	25	2,00	174	1,495	1,48	1,19	9,2	2,53	1,80
25	25	3,00	241	2,216	1,84	1,47	8,7	3,33	2,27
30	30	1,20	135	1,106	1,83	1,22	11,7	2,93	1,84
30	30	1,50	165	1,371	2,20	1,46	11,5	3,57	2,21
30	30	2,00	214	1,840	2,72	1,81	11,3	4,54	2,75
30	30	3,00	301	2,720	3,50	2,34	10,8	6,15	3,58
32	32	1,20	144	1,190	2,25	1,41	12,5	3,58	2,11
32	32	1,50	177	1,470	2,70	1,69	12,3	4,37	2,54
34	34	1,20	154	1,210	2,72	1,60	13,3	4,32	2,41
34	34	1,50	189	1,490	3,28	1,93	13,2	5,28	2,90
35	35	1,20	159	1,310	2,98	1,70	13,7	4,73	2,56
35	35	1,50	195	1,620	3,60	2,05	13,6	5,78	3,09
35	35	2,00	254	2,150	4,51	2,58	13,3	7,41	3,89
35	35	3,00	361	3,152	5,95	3,40	12,8	10,22	5,18
38	38	1,20	173	1,415	3,86	2,03	14,9	6,09	3,05
38	38	1,50	213	1,758	4,67	2,46	14,8	7,46	3,70
38	38	2,00	278	2,319	5,88	3,10	14,6	9,60	4,67
40	40	1,20	183	1,496	4,53	2,27	15,8	7,13	3,40
40	40	1,50	225	1,859	5,49	2,75	15,6	8,75	4,13
40	40	2,00	294	2,454	6,94	3,47	15,4	11,28	5,23
40	40	3,00	421	3,756	9,32	4,66	14,9	15,75	7,07
40	40	4,00	535	4,808	11,07	5,54	14,4	19,44	8,48
50	50	1,50	285	2,329	11,07	4,43	19,7	17,42	6,65
50	50	2,00	374	3,080	14,15	5,66	19,5	22,63	8,51
50	50	3,00	541	4,650	19,47	7,79	19,0	32,13	11,76
50	50	4,00	695	5,960	23,74	9,49	18,5	40,42	14,43
50	50	5,00	836	7,410	27,04	10,82	18,0	47,46	16,56
50	50	6,00	963	8,832	29,45	11,78	17,5	53,23	18,20
60	60	1,50	345	2,802	19,52	6,51	23,8	30,48	9,77
60	60	2,00	454	3,711	25,14	8,38	23,5	39,79	12,59
60	60	3,00	661	5,491	35,13	11,71	23,1	57,09	17,65
60	60	4,00	855	7,222	43,55	14,52	22,6	72,64	21,97
60	60	5,00	1036	8,902	50,49	16,83	22,1	86,42	25,61
70	70	2,00	534	4,380	40,73	11,64	27,6	63,96	17,48
70	70	3,00	781	6,530	57,53	16,44	27,1	92,42	24,74
70	70	4,00	1015	8,450	72,12	20,61	26,7	118,52	31,11
70	70	5,00	1236	10,629	84,63	24,18	26,2	142,21	36,65
80	80	2,00	614	4,988	61,70	15,42	31,7	96,34	23,16
80	80	3,00	901	7,530	87,84	21,96	31,2	139,93	33,02
80	80	4,00	1175	9,816	111,04	27,76	30,7	180,44	41,84

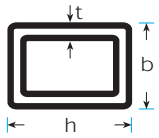
We reserve the right to make any changes. Stalatube takes no responsibility for any errors in numerical information that might appear in this brochure.

h mm	b mm	t mm	A mm²	m kg/m	Iy,z mm⁴ ×10000	Wy,z mm³ ×1000	i y,z mm	Iv mm⁴ ×10000	Wv mm³ ×1000
80	80	5,00	1436	12,395	131,44	32,86	30,3	194,23	49,68
80	80	6,00	1683	14,600	149,18	37,29	29,8	252,07	56,59
100	100	2,00	774	6,400	123,01	24,60	39,9	190,54	36,92
100	100	3,00	1141	9,530	177,05	35,41	39,4	278,68	53,19
100	100	4,00	1495	12,400	226,35	45,27	38,9	362,01	68,10
100	100	5,00	1836	15,380	271,10	54,22	38,4	440,52	81,72
100	100	6,00	2163	17,500	311,47	62,29	37,9	514,16	94,12
100	100	8,00	2724	21,600	365,95	73,19	36,7	644,51	114,23
100	100	10,00	3257	25,800	411,08	82,22	35,5	749,84	130,10
120	120	3,00	1381	11,300	312,35	52,06	47,6	487,72	78,15
120	120	4,00	1815	15,030	402,28	67,05	47,1	636,57	100,75
120	120	5,00	2236	18,660	485,47	80,91	46,6	778,50	121,75
120	120	6,00	2643	21,200	562,16	93,69	46,1	913,46	141,22
120	120	8,00	3364	26,580	676,88	112,81	44,9	1162,95	174,58
120	120	10,00	4057	32,370	776,81	129,47	43,8	1376,41	202,52
150	150	3,00	1741	14,064	622,73	83,03	59,8	964,61	124,60
150	150	4,00	2295	18,624	807,82	107,71	59,3	1264,76	161,73
150	150	5,00	2836	22,400	982,12	130,95	58,9	1554,13	196,79
150	150	6,00	3363	27,360	1145,91	152,79	58,4	1832,69	229,84
150	150	8,00	4324	34,300	1411,83	188,24	57,1	2364,08	289,03
150	150	10,00	5257	41,650	1652,53	220,34	56,1	2839,24	340,98
150	150	12,50	6338	50,570	1896,51	252,87	54,7	3360,38	395,56
200	200	4,00	3095	24,600	1968,13	196,81	79,75	3058,40	295,20
200	200	5,00	3814	30,800	2388,50	238,85	79,1	3776,96	361,54
200	200	6,00	4532	36,900	2801,64	280,16	78,6	4476,23	425,02
200	200	8,00	5924	47,250	3566,25	356,63	77,6	5815,18	543,64
200	200	10,00	7257	57,600	4251,06	425,11	76,5	7071,74	651,48
200	200	12,50	8838	69,830	4999,20	499,92	75,2	8521,22	771,69
220	220	6,00	5012	39,600	3775,73	343,25	86,8	5998,75	520,08
220	220	8,00	6564	51,900	4828,01	438,91	85,8	7814,84	667,86
220	220	10,00	8057	63,650	5782,46	525,68	84,7	9532,77	803,62
220	220	12,50	9838	77,730	6842,75	622,07	83,4	11536,29	957,02
250	250	5,00	4836	38,400	4805,01	384,40	99,68	7443,01	576,84
250	250	6,00	5732	45,700	5623,44	449,87	99,0	8873,96	680,66
250	250	8,00	7524	59,450	7229,21	578,34	98,0	11597,77	878,18
250	250	10,00	9257	73,500	8706,68	696,53	97,0	14197,22	1061,80
250	250	12,50	11338	89,600	10378,58	830,29	95,7	17264,98	1272,42
300	300	5,00	5836	46,200	8416,88	561,13	120,10	13004,86	841,57
300	300	6,00	6932	55,300	9893,78	659,59	119,5	15483,15	996,30
300	300	8,00	9124	72,800	12800,69	853,38	118,4	20311,84	1292,67
300	300	10,00	11257	89,800	15519,37	1034,62	117,4	24965,66	1572,02
300	300	12,50	13838	109,350	18659,64	1243,98	116,1	30529,02	1897,94



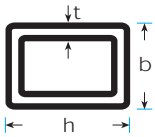
Other dimensions on special request.

Other dimensions on special request.



h mm	b mm	t mm	A mm²	m kg/m	Iy mm⁴ ×10000	Wy mm³ ×1000	i y mm	Iz mm⁴ ×10000	Wz mm³ ×1000	i z mm	Iv mm⁴ 10000	Wv mm³ 1000
30	20	1,20	111	0,925	1,59	1,06	10,8	0,84	0,84	7,9	1,83	1,40
30	20	1,50	135	1,146	1,94	1,29	10,6	1,02	1,02	7,7	2,29	1,71
30	20	2,00	174	1,495	2,41	1,60	10,0	1,25	1,25	7,2	2,99	2,13
40	10	1,50	135	1,146	2,15	1,08	12,6	0,21	0,43	4,0	0,70	0,81
40	10	2,00	174	1,495	2,60	1,30	12,2	0,25	0,49	3,8	0,83	0,94
40	20	1,20	135	1,106	2,73	1,36	14,2	0,92	0,92	8,3	2,27	1,60
40	20	1,50	165	1,371	3,27	1,63	14,1	1,10	1,10	8,1	2,74	1,91
40	20	2,00	214	1,840	4,05	2,02	13,8	1,34	1,34	7,9	3,45	2,36
40	30	1,20	159	1,310	3,63	1,81	15,1	2,33	1,55	12,1	4,52	2,50
40	30	1,50	195	1,620	4,38	2,19	15,0	2,81	1,87	12,0	5,52	3,02
40	30	2,00	254	2,150	5,49	2,75	14,7	3,51	2,34	11,8	7,07	3,79
40	30	3,00	361	3,152	7,27	3,63	14,2	4,60	3,07	11,3	9,72	5,03
50	10	1,50	165	1,371	4,01	1,60	15,6	0,27	0,54	4,0	0,92	1,03
50	10	2,00	214	1,840	4,93	1,97	15,2	0,31	0,62	3,8	1,09	1,20
50	20	1,20	159	1,310	4,79	1,92	17,4	1,14	1,14	8,5	3,05	2,03
50	20	1,50	195	1,620	5,77	2,31	17,2	1,35	1,35	8,3	3,69	2,42
50	20	2,00	254	2,150	7,23	2,89	16,9	1,67	1,67	8,1	4,66	3,00
50	25	1,20	171	1,415	5,50	2,20	18,0	1,88	1,50	10,5	4,54	2,59
50	25	1,50	210	1,758	6,65	2,66	17,8	2,25	1,80	10,4	5,54	3,13
50	25	2,00	274	2,319	8,38	3,35	17,5	2,81	2,25	10,1	7,06	3,92
50	25	3,00	391	3,456	11,17	4,47	16,9	3,67	2,93	9,7	9,64	5,18
50	30	1,20	183	1,496	6,22	2,49	18,5	2,83	1,89	12,5	6,22	3,17
50	30	1,50	225	1,859	7,54	3,01	18,3	3,42	2,28	12,3	7,60	3,83
50	30	2,00	294	2,454	9,54	3,81	18,0	4,29	2,86	12,1	9,77	4,84
50	30	3,00	421	3,756	12,83	5,13	17,5	5,70	3,80	11,6	13,53	6,49
50	30	4,00	535	4,808	15,25	6,10	16,9	6,69	4,46	11,2	16,53	7,71
50	40	1,50	255	2,122	9,30	3,72	19,1	6,60	3,30	16,1	12,26	5,24
50	40	2,00	334	2,804	11,84	4,74	18,8	8,39	4,19	15,9	15,86	6,67
50	40	3,00	481	4,131	16,15	6,46	18,3	11,38	5,69	15,4	22,34	9,12
60	10	1,50	195	1,620	6,69	2,23	18,5	0,32	0,65	4,1	1,13	1,25
60	10	2,00	254	2,150	8,32	2,77	18,1	0,38	0,76	3,9	1,35	1,46
60	20	1,20	183	1,496	7,64	2,55	20,5	1,35	1,35	8,6	3,85	2,45
60	20	1,50	225	1,859	9,25	3,08	20,3	1,61	1,61	8,5	4,66	2,94
60	20	2,00	294	2,454	11,68	3,89	19,9	1,99	1,99	8,2	5,89	3,65
60	30	1,50	255	2,122	11,82	3,94	21,5	4,03	2,68	12,6	9,77	4,64
60	30	2,00	334	2,804	15,05	5,02	21,2	5,08	3,39	12,3	12,57	5,88
60	30	3,00	481	4,131	20,50	6,83	20,6	6,80	4,53	11,9	17,48	7,95
60	30	4,00	615	4,650	24,70	8,23	20,0	8,06	5,37	11,4	21,47	9,52
60	40	1,50	285	2,329	14,39	4,80	22,5	7,71	3,86	16,4	15,97	6,35
60	40	2,00	374	3,080	18,41	6,14	22,2	9,83	4,92	16,2	20,70	8,12
60	40	3,00	541	4,650	25,38	8,46	21,7	13,44	6,72	15,8	29,28	11,17
60	40	4,00	695	5,960	30,99	10,33	21,1	16,28	8,14	15,3	36,67	13,65
70	20	2,00	334	2,804	17,60	5,03	23,0	2,32	2,32	8,3	7,14	4,31
70	40	2,00	414	3,405	26,85	7,67	25,5	11,28	5,64	16,5	25,72	9,56
70	40	3,00	601	5,070	37,31	10,66	24,9	15,50	7,75	16,1	36,49	13,23
70	50	2,00	454	3,711	31,48	8,99	26,3	18,76	7,50	20,3	37,45	12,20
70	50	3,00	661	5,491	44,05	12,59	25,8	26,10	10,44	19,9	53,62	17,06
80	10	1,50	255	2,122	15,12	3,78	24,3	0,43	0,87	4,1	1,57	1,69
80	10	2,00	334	2,804	19,10	4,78	23,9	0,51	1,02	3,9	1,87	1,99
80	20	1,50	285	2,329	19,74	4,94	26,3	2,13	2,13	8,6	6,64	3,97
80	20	2,00	374	3,080	25,19	6,30	26,0	2,64	2,64	8,4	8,40	4,96
80	40	1,50	345	2,802	28,99	7,25	29,0	9,94	4,97	17,0	23,77	8,57
80	40	2,00	454	3,711	37,36	9,34	28,7	12,72	6,36	16,7	30,88	11,00
80	40	3,00	661	5,491	52,25	13,06	28,1	17,56	8,78	16,3	43,88	15,28
80	40	4,00	855	7,222	64,79	16,20	27,5	21,49	10,74	15,9	55,24	18,84
80	40	5,00	1036	8,902	75,11	18,78	26,9	24,59	12,30	15,4	64,97	21,74
80	50	1,50	375	2,964	33,61	8,40	29,9	16,36	6,54	20,9	34,72	10,88
80	50	2,00	494	4,060	43,44	10,86	29,7	21,06	8,43	20,7	45,31	14,04
80	50	3,00	721	5,928	61,15	15,29	29,1	29,42	11,77	20,2	65,00	19,71
80	50	4,00	935	7,808	76,36	19,09	28,6	36,46	14,59	19,8	82,70	24,57
80	50	5,00	1136	9,469	89,19	22,30	28,0	42,29	16,92	19,3	98,40	28,69
80	60	2,00	534	4,380	49,53	12,38	30,5	31,87	10,62	24,4	61,22	17,08
80	60	3,00	781	6,530	70,05	17,51	30,0	44,89	14,96	24,0	88,35	24,14
80	60	4,00	1015	8,450	87,92	21,98	29,4	56,12	18,71	23,5	113,12	30,32
80	60	5,00	1236	10,629	103,28	25,82	28,9	65,66	21,89	23,1	135,53	35,67
100	40	2,00	534	4,380	65,38	13,08	35,0	15,61	7,81	17,1	41,47	13,89
100	40	3,00	781	6,530	92,34	18,47	34,4	21,67	10,84	16,7	59,05	19,39

Other dimensions on special request.



h mm	b mm	t mm	A mm²	m kg/m	Iy mm⁴ ×10000	Wy mm³ ×1000	i y mm	Iz mm⁴ ×10000	Wz mm³ ×1000	i z mm	Iv mm⁴ 10000	Wv mm³ 1000
100	40	4,00	1015	8,450	115,70	23,14	33,8	26,69	13,35	16,2	74,53	24,04
100	40	5,00	1236	10,629	135,60	27,12	33,1	30,76	15,38	15,8	87,92	27,90
100	50	2,00	574	4,680	74,98	15,00	36,2	25,67	10,27	21,2	61,59	17,73
100	50	3,00	841	6,950	106,46	21,29	35,6	36,06	14,42	20,7	88,56	25,01
100	50	4,00	1095	9,090	134,14	26,83	35,0	44,95	17,98	20,3	112,99	31,35
100	50	5,00	1336	11,240	158,19	31,64	34,4	52,45	20,98	19,8	134,87	36,80
100	50	6,00	1563	13,490	178,75	35,75	33,8	58,67	23,47	19,4	154,20	41,43
100	60	2,00	614	4,988	84,59	16,92	37,1	38,60	12,87	25,1	84,08	21,56
100	60	3,00	901	7,530	120,57	24,11	36,6	54,65	18,22	24,6	121,67	30,64
100	60	4,00	1175	9,816	152,58	30,52	36,0	68,68	22,89	24,2	156,27	38,68
100	60	5,00	1436	12,395	180,77	36,15	35,5	80,83	26,94	23,7	187,86	45,75
100	60	6,00	1683	14,600	205,30	41,06	34,9	91,20	30,40	23,3	216,44	51,92
100	80	2,00	694	5,624	103,80	20,76	38,7	73,87	18,47	32,6	134,59	29,24
100	80	3,00	1021	8,388	148,81	29,76	38,2	105,64	26,41	32,2	196,12	41,91
100	80	4,00	1335	11,050	189,47	37,89	37,7	134,17	33,54	31,7	253,79	53,38
100	80	5,00	1636	13,750	225,94	45,19	37,2	159,61	39,90	31,2	307,55	63,72
100	80	6,00	1923	16,220	258,39	51,68	36,7	182,11	45,53	30,8	357,38	72,98
120	40	2,00	614	4,988	104,07	17,34	41,2	18,50	9,25	17,4	52,32	16,78
120	40	3,00	901	7,530	148,04	24,67	40,5	25,79	12,89	16,9	74,56	23,51
120	40	4,00	1175	9,816	186,89	31,15	39,9	31,90	15,95	16,5	94,23	29,24
120	40	5,00	1436	12,395	220,81	36,80	39,2	36,93	18,46	16,0	111,35	34,05
120	60	2,00	694	5,624	131,92	21,99	43,6	45,33	15,11	25,6	107,88	26,05
120	60	3,00	1021	8,388	189,12	31,52	43,0	64,40	21,47	25,1	156,34	37,14
120	60	4,00	1335	11,050	240,74	40,12	42,5	81,25	27,08	24,7	201,12	47,05
120	60	5,00	1636	13,750	286,97	47,83	41,9	95,99	32,00	24,2	242,23	55,85
120	60	6,00	1923	16,220	328,01	54,67	41,3	108,77	36,26	23,8	279,67	63,60
120	80	2,00	774	6,400	159,77	26,63	45,4	86,04	21,51	33,3	175,00	35,32
120	80	3,00	1141	9,530	230,20	38,37	44,9	123,43	30,86	32,9	255,47	50,80
120	80	4,00	1495	12,400	294,59	49,10	44,4	157,29	39,32	32,4	331,24	64,93
120	80	5,00	1836	15,380	353,14	58,86	43,9	187,78	46,94	32,0	402,27	77,77
120	80	6,00	2163	17,500	406,06	67,68	43,3	215,03	53,76	31,5	468,54	89,40
150	50	3,00	1141	9,530	298,55	39,81	51,2	52,65	21,06	21,5	150,22	38,28
150	50	4,00	1495	12,400	381,39	50,85	50,5	66,16	26,47	21,0	192,14	48,30
150	50	5,00	1836	15,380	456,29	60,84	49,9	77,87	31,15	20,6	230,05	57,11
150	100	3,00	1441	11,664	460,64	61,42	56,5	247,64	49,53	41,5	507,20	81,40
150	100	4,00	1895	15,424	594,60	79,28	56,0	318,57	63,71	41,0	661,63	104,94
150	100	5,00	2336	18,800	719,20	95,89	55,5	384,02	76,80	40,5	808,68	126,81
150	100	6,00	2763	22,560	834,69	111,29	55,0	444,19	88,84	40,1	948,34	147,07
150	100	8,00	3524	27,900	1008,13	134,42	53,5	535,65	107,13	39,0	1205,89	181,85
150	100	10,00	4257	33,650	1161,70	154,89	52,2	614,41	122,88	38,0	1425,87	210,96
160	80	3,00	1381	11,300	463,81	57,98	58,0	159,03	39,76	33,9	380,34	68,59
160	80	4,00	1815	15,030	597,71	74,71	57,4	203,54	50,89	33,5	494,10	88,03
160	80	5,00	2236	18,660	721,69	90,21	56,8	244,11	61,03	33,0	601,34	105,90
160	80	6,00	2643	21,200	836,01	104,50	56,2	280,89	70,22	32,6	702,06	122,27
200	100	3,00	1741	14,064	924,33	92,43	72,9	318,23	63,65	42,8	754,28	109,63
200	100	4,00	2295	18,624	1199,71	119,97	72,3	410,78	82,16	42,3	985,38	141,81
200	100	5,00	2836	22,400	1459,25	145,93	71,7	496,94	99,39	41,9	1206,29	171,94
200	100	6,00	3363	27,360	1703,31	170,33	71,2	576,91	115,38	41,4	1417,03	200,10
200	100	8,00	4324	34,300	2090,84	209,08	69,5	705,36	141,07	40,4	1810,72	249,60
200	100	10,00	5257	41,650	2444,40	244,44	68,2	817,75	163,55	39,4	2154,13	292,07
250	150	5,00	3814	30,800	3270,47	261,64	92,6	1495,79	199,44	62,6	3296,00	336,62
250	150	6,00	4532	36,900	3837,00	306,96	92,0	1750,83	233,44	62,2	3900,18	395,16
250	150	8,00	5924	47,250	4885,79	390,86	90,8	2219,25	295,90	61,2	5050,45	503,96
250	150	10,00	7257	57,600	5825,01	466,00	89,6	2634,20	351,23	60,2	6120,70	602,08
250	150	12,50	8838	69,850	6849,93	547,99	88,0	3081,41	410,85	59,0	7341,38	710,33
300	100	5,00	3814	30,800	4016,72	267,78	102,6	717,36	143,47	43,4	2049,75	261,95
300	100	6,00	4532	36,900	4706,90	313,79	101,9	834,56	166,91	42,9	2410,31	305,71
300	100	8,00	5924	47,250	5977,86	398,52	100,5	1044,77	208,95	42,0	3080,34	385,24
300	100	10,00	7257	57,600	7106,03	473,74	99,0	1224,41	244,88	41,1	3681,00	454,51
300	200	6,00	5732	45,700	7300,34	486,69	112,9	3931,08	393,11	82,8	8143,43	650,75
300	200	8,00	7524	59,450	9389,27	625,95	111,7	5041,67	504,17	81,9	10626,50	838,38
300	200	10,00	9257	73,500	11312,70	754,18	110,5	6057,73	605,77	80,9	12987,14	1012,19
300	200	12,50	11338	89,600	13490,37	899,36	109,1	7199,72	719,97	79,7	15759,61	1210,66
400	200	6,00	6932	55,300	14665,25	733,26	145,4	5060,52	506,05	85,4	12105,10	876,56
400	200	8,00	9124	72,800	18974,42	948,72	144,2	6517,08	651,71	84,5	15820,22	1133,29
400	200	10,00	11257	89,800	23002,66	1150,13	143,0	7864,40	786,44	83,6	19368,49	1373,21
400	200	12,50	13838	109,350	27650,78	1382,54	141,4	9400,24	940,02	82,4	23562,97	1650,20

STALA TUBE

Stalatube Oy • Finland
Taivalkatu 7
FIN - 15170 Lahti
Tel. +358 (0)3 882 190
Fax +358 (0)3 882 1914

Stalatube BV • The Netherlands
Touwslagerij 13
NL - 4762 AT Zevenbergen
Tel. +31 (0)168 325 777
Fax +31 (0)168 325 778

www.stalatube.com

Stalatube Inc. • U.S.A
P.O. Box 210, Bryn Mawr, PA
19010-0210 U.S.A.
Tel. +1 610 525 7706
Fax +1 610 525 5717

2.4. Pressupostos obtinguts

MOTRONIC SERVICE, S.A.
Avda. Castell de Barberà, 16 Pol. Ind. Santiga
08210 BARBERÀ DEL VALLÈS
Tel. 93 719 29 20 Fax 93 719 29 21
motronic@motronic.es Apdo. correos 329 NODUS

Distribuidor y Servicio Oficial
División Danfoss Drives
Reductores Danfoss Bauer

ABB motors Authorized Repairer
ABB drives alliance System Integration
Corriente Continua

Oferta nº: OV-18767-2

Cliente:

UDL

A la atención de: Sr. David Font.

Barberà del Vallès, 16 de marzo de 2010

ASUNTO: Oferta motor corriente continua ABB con la modificación de ese solicitada respecto al normalizado de catálogo.

Muy señores nuestros,

Atendiendo a su amable solicitud y tomando como base los datos que nos han facilitado, nos complace pasarles nuestra mejor oferta de:

Pos.01: Motor de corriente continua de las siguientes características:

Tipo	DMI 200 H 3BSM003050-DUA
Potencia	194 Kw.
Velocidad	2.738r.p.m.
Tensión inducido	420 v. 499 A.
Tensión excitación	310 V 10,03 A.
Ventilación	Forzada IC06 + filtro
Tacodinamo	Preparado para montar pero sin incluir la dinamo.
Control de temperatura	Si, sondas tipo klisón
Control de presión	Si, presostato HUBA 620
Rodamientos	De bolas en ambos lados para acoplamiento directo.
Bobinados	Tropicalizados
Protección	IP23
Forma constructiva	**Patas y brida diam. encaste 300mm y total 400mm. para acoplar a reductor.**
Observaciones	**Motor con diámetro de eje modificado con respecto a catálogo a 55 mm.**

www.tuv.com TÜVRheinland ID:310505245 ISO 9001:2000

Precio neto unitario:	**12.720 €.**
Plazo de entrega:	**4 – 5 Semanas en estos momentos.**
Portes:	**Pagados.**

Esperando que cuanto antecede merezca su conformidad, quedamos a su disposición para cualquier consulta o aclaración que deseen efectuarnos al respecto. Atentamente,

MOTRONIC SERVICE, S.A.
DPTO. COMERCIAL
Ricard Pitarch
Tlf. 937192920
ricard.compras@motronic.es

MOTRONIC SERVICE, S.A.
Avda. Castell de Barberà, 16 Pol. Ind. Santiga
08210 BARBERÀ DEL VALLÈS
Tel. 93 719 29 20 Fax 93 719 29 21
motronic@motronic.es Apdo. correos 329 NODUS

Distribuidor y Servicio Oficial
División Danfoss Drives
División Danfoss Bauer

Oferta Nº. OV/18767

Cliente:

UBL

A la atención Sr. David Font.

Barberà del Vallès, 18 de Febrero 2010.

ASUNTO: OFERTA EQUIPO DCS 402 C. C. ABB

Muy señores nuestros,

Atendiendo a su amable solicitud y tomando como base los datos que nos han facilitado, nos complace pasarles nuestra mejor oferta de:

Pos.01

Marca	**ABB**
Tipo	**DCS 402** **DCS402.0450**
Potencia	**450 A.**
Otros (descripción)	**Equipo ABB de 4 cuadrantes.** **Modulo formado por equipo, base fusibles, fusible y reactancias**
Cantidad ofertada	**1**

Precio neto unitario: **5.301,43 €.**
Plazo de entrega: **1 - 2 Semanas.**

Pos.02

Marca	**ABB**
Tipo	**DCS 402** **EMC NF3-500-600**
Otros (descripción)	**Filtro EMC**
Cantidad ofertada	**1**

Precio neto unitario: **1.358 €.**
Plazo de entrega: **1 - 2 Semanas.**

Esperando que cuanto antecede merezca su conformidad, quedamos a su disposición para cualquier consulta o aclaración que deseen efectuarnos al respecto. Atentamente,

MOTRONIC SERVICE, S.A.
Dpto. Comercial
Juan Ramón Trigo Rueda
Tlf. 937192920
trigo.comercial@motronic.es

Oferta

Nº Oferta: 9520 **43505059** /43469490A
Impr.: 28.04.2010
Cliente N°: 95128269
Nº fax: 973267161
Tel-Nr.: 973272922

MAQCENTRE
Sr. DAVID FONT
Parc de Gardeny, Edifici 23A, oficina 19
25071 LLEIDA

Su contacto:
Sr. Miguel Bailon
Barcelona
Tel. 937 162 200 Fax 937 233 007
Miguel.Bailon@sew-eurodrive.es

Sr. Ramiro Ubach
Responsable comercial
Tel. 937 162 200 Fax 937 233 007
ramiro.ubach@sew-eurodrive.es

Su oficina técnico-comercial:
DELEGACIÓN BARCELONA
Tel. 937 162 200 Fax 937 233 007

Su solicitud de oferta: solicitud Sr. David Font
Fecha de solicitud: 26.03.2010

Estimado Sr. DAVID FONT,

gracias por su interés en nuestros productos.
Le agradecemos su solicitud y procedemos a enviarle nuestra oferta acorde a nuestras Condiciones Generales de Venta.

Pos	Ctd	Descripción Nº Ref Su nº de producto	Precio/Unidad Neto EUR	Precio total Neto EUR
01	1 PZA	Red engr cilíndricos+adaptador R107 AM200 Para más alternativas ver detalle de posición.	2.730,68	2.730,68
		Total sin IVA		2.730,68
			Importe total EUR	**2.730,68**

El plazo de entrega se contará a partir de la recepción del pedido oficial por parte del Cliente y de la completa clarificación de las características técnicas del mismo. Tenga en cuenta que modificaciones posteriores de las características del equipo una vez tramitado el pedido del mismo pueden dar lugar a variaciones del último plazo de entrega indicado.

Véanse las páginas siguientes para una información más detallada de los datos de las posiciones.

Condición de pago: contado
Portes: Portes pagados SEW a incluir en factura
Validez hasta: 28.06.2010
Plazo de entrega: aprox 4-5 semanas

Oferta

Nº Oferta: **9520** **43505059** /43469490A Impr.: 28.04.2010

Pos	Ctd	Nº Ref	Precio/Unidad EUR	Precio total EUR
01	**1 PZA**		**2.730,68**	**2.730,68**

Red engr cilíndricos+adaptador
R107 AM200

Velocidad [r/min]	: 1400 / 285
Índice reducción total [I]	: 4,92 / Infinito
Ma max [Nm]	: 2900
Par de salida [Nm]	: 2900
Posición de montaje IM	: M1
Lubricante / Cantidad [L]	: CLP PG 220 Aceite sintético / 6,00
Extremo eje salida	: 70x140 mm
Material retén lado salida	: Vitón
Nº de documentación A	: 11691107
Despiece	: 01255596
Material retén lado salida	: Vitón
Diám.interior entrada	: 55 mm
Despiece	: 232660200
Idioma inst. func.A / Cantidad	: Español
Partida estadística	: 84834021
peso neto [kg]	: approx. 200/PZA 200/Pos.

- NOTA: El reductor ofertado es capaz de suministrar los 55 Kw solicitados con un régimen de trabajo del 60%ED. En régimen continuo (100%ED) sólo será capaz de transmitir 45.12 Kw.

Saldo EUR 2.730,68

SEDE SOCIAL Y FÁBRICA:
Parque Tecnológico - Edificio 302
48170 ZAMUDIO (VIZCAYA)
Tlf. 944 318 470 - Fax 944 318 471
E-mail: sew.spain@sew-eurodrive.es

DELEGACIÓN MADRID:
Gran Vía, 48 - 2° A-D
28220 MAJADAHONDA (MADRID)
Tlf. 916 342 250 - Fax 916 340 899

DELEGACIÓN BARCELONA:
Avda. Francesc Maciá, 40-44 Ofic. N° 4.2
08208 SABADELL (BARCELONA)
Tlf. 937 162 200 - Fax 937 233 007

DELEGACIÓN NOROESTE:
Apartado de correos, 1003
27080 LUGO
Tlf. 639 403 348 - Fax 982 202 934

SEW EURODRIVE ESPAÑA, S. L., SOCIEDAD UNIPERSONAL,C.I.F.: B-48/563142, REGISTRO MERCANTIL DE VIZCAYA, TOMO BI 751, FOLIO 25, HOJA 10.268/B

TALLERES EGAÑA, S. L.

Soportes y amortiguadores antivibratorios

N.I.F. B-20066015

SGI – 1199485

Pº EGIBURUBERRI, 19-C
POL.EGIBURUBERRI
20100 ERRENTERIA
TELF:943 46 88 35
FAX: 943 46 08 28
APARTADO 149
20080 SAN SEBASTIAN

PRESUPUESTO: 000000719

Fecha 09/04/2010
Cliente 0081046
Referencia
Fecha de Entrega 09/04/2010

MAQ CENTRI

PARC DE GARDENY EDIFICI H3

25071 LLEIDA
LLEIDA
FAX:

Código	Descripción	Cantidad	Precio	Dto.	Importe
12634	BASE POLIAMIDA FIJO INOX 85 M14X100 A L' ATENCIO DEL Sr. DAVID PES DE LA REF. 12634 .....200 gr. . Distribuidors a la seva zona: RAMON SOLE, FERRETERIA MASANES SUM.IND. G. ORLEANS S.L. COM. FERRETERIA LLEIDA S.C.P. SUM. LA FERRETERIA IND. JUAN MTZ. ALBERT SOLER Rodaments SEGRIA BUENAVENTURA GINER EL FARO, FERRETERIA BRAMMER IBERIA	10,00	9,73		97,30

CONDICIONES DE ENTREGA	
FORMA DE PAGO	CONTADO
ENTIDAD	
VALIDEZ OFERTA	09/05/2010

Base Imp.	% Iva	Cuota Iva	TOTAL OFERTA
97,30	16	15,57	**112,87**

3. PLÀNOLS

Índex dels plànols

4. PLEC DE CONDICIONS

Índex del Plec de condicions

Índex de figures

Índex de taules

4.1. Normativa

El banc d'assaig projectat haurà de complir certes normes i reglaments que es descriuen a continuació.

- Real Decreto 486/1997, de 14 d'abril, sobre condicions dels llocs de treball.
- Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre el soroll en llocs de treball.
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, senyalització en llocs de treball.
- Real Decreto 842 / 2002, reglament de baixa tensió.
- Real Decreto 1495 / 1986, reglament de seguretat en la màquina.
- Real Decreto 1580 / 2006, reglament de compatibilitat electromagnètica.

4.2. Condicions generals de seguretat de la instal·lació.

4.2.1. Entorn del banc d'assaig

Com a lloc de treball que és un banc d'assaig de motors, cal que es mantinguin unes condicions d'ordre i neteja apropiades per a complir les preinscripcions sobre temperatura, humitat, ventilació, il·luminació i soroll regulables en els següents texts legals:

- **Real Decreto 486/1997**, de 14 de abril, sobre condicions de llocs de treballs.
- **Real Decreto 286/2006**, de 10 de marzo, sobre soroll.
- **Real Decreto 485/1997**, de 14 de abril, sobre senyalització.

4.2.1.1. Ordre i neteja

Tant en el moment de la instal·lació com en el de funcionament del banc d'assaig, caldrà que es compleixi unes directrius especifiques descrites a continuació:

- Mantenir neta la situació i entorn del banc d'assaig, evitant que s'acumuli brutícia, pols o restes metàl·liques, especialment al voltant dels aparells o màquines amb òrgans mòbils.

- Mantenir el sòl net i lliure d'objectes o líquids vessats que puguin suposar un risc d'accidents físics o mecànics.

- Recollir i guardar les eines de muntatge o altres aparells fora de l'entorn del banc d'assaig, una vegada s'hagi fet ús d'ells.

- Netejar i conservar correctament correctament els motors aparells o màquines de treball d'acord amb els seus programes de manteniment establerts pel fabricant.

- No bloquejar el pas a extintors o a altres elements de protecció contra incendis.

- Cal disposar i guardar en el lloc de treball els manuals d'instruccions dels elements del banc d'assaig. Aquests seran fàcilment accessibles sense que saturi l'entorn de treball o que oculti eines o aparells d'us habitual.

4.2.1.2. Temperatura, humitat i ventilació

L'exposició dels treballadors a les condicions ambientals del banc d'assaig no ha de suposar cap risc per a la seva seguretat i salut, ni ha de ser font d'incomoditat o molèstia. En la taula 4.1 es mostra les condicions de temperatura, humitat i ventilació que, de conformitat amb l' establert amb la legislació vigent (annex III del RD486/1997), han de reunir la sala d'assaigs de potencia de motors tèrmics.

CONCEPTE	ACTIVITATS DESENVOLUCPADES (RD 486 / 1997)	LÍMITS
Temperatura	Treball a l'interior de sales de prova de motors , tallers de recolzament, bancs de potencia i altres activitats pròpies dels tallers mecànics, com equilibrat de rodes, cavi de pneumàtics, etc.	14 – 25 ºC
Humitat relativa	Totes les activitats realitzades en tallers mecànics o de motors tèrmics considerats.	30 – 70 %
Velocitat del aire	Totes les activitats realitzades en tallers mecànics i de motors tèrmics, on no hi hagi instal·lat un sistema d'aire acondicionat.	0,25 – 0,5 m/s
Renovació de l'aire	Treball a l'interior de sales de prova de motors, tallers de recolzament, bancs de potencia i altres activitats pròpies dels tallers mecànics, com equilibrat de rodes, canvi de pneumàtics,etc.	50 m^3 per hora i treballador

Taula 4.1. Límits de temperatura, humitat i ventilació segons l'establert en l'annex III del RD 486/1997.

4.2.1.3. Il·luminació

La il·luminació de l'entorn del banc d'assaig cal que s'adapti a les exigències de l'annex IV del RD 486 /1997, pel que s'estableixen les disposicions mínimes de seguretat i salut en els llocs de treball, tenint en compte les exigències visuals de les tasques a desenvolupar i els riscs per a la seguretat i salut dels treballadors, dependents de les condicions de visibilitat. Segons aquest, s'estableix un nivell mínim de 500 Lux per a les activitats de proves de motors o bancs d'assaig. Tot i això, aquest nivell mínim cal duplicar-lo en el cas de que hi hagi riscs apreciables d'accidents o que hi hagi la possibilitat d'errors d'apreciació visual, degut al dèbil contrast de color entre l'objecte a visualitzar i el fons sobre el que es troba o altres.

4.2.1.4. Soroll

Els nivells de soroll en bacs d'assaigs de motors tèrmics també ha de complir amb l' establert amb el Real Decret 286/2006 del 10 de març, sobre protecció y seguretat dels treballadors contra els riscos relacionats amb l'exposició al soroll:

- Valors límits d'exposició, tenint en compte l'atenuació que proporcionen els protectors auditius individuals utilitzats:
  $L_{Aeq,d}$ = 87 dB(A)
  L_{pic}= 140 db(C)

- Valors superiors d'exposició que donen lloc a una acció, sense considerar l'atenuació dels protectors auditius individuals:
  $L_{Aeq,d}$ = 85 dB (A)
  L_{pic} = 137 dB(C)

- Valors inferior d'exposició que donen lloc a una acció, sense tenir e compte l'atenuació que proporcionen els protectors auditius:
  $L_{Aeq,d}$ = 85 dB (A)
  L_{pic} = 137 dB(C)

Caldrà realitzar una avaluació basada en la mesura dels nivells de soroll a que estan exposats les persones dins del marc de lo disposat en l'article 16 de la llei 31 /1995. Per aquesta avaluació i mesura del soroll podrà utilitzar-se un mostreig representatiu de la exposició personal, comprovant abans que l'aparell mesurador del soroll estigui ben calibrat amb un calibrador acústic. Així mateix, l'avaluació i mesura del soroll cal que la realitzi personal qualificat, conforme s'indica en els articles 36 i 37 del Real Decret 39/1997.

4.2.2. Senyalització

Caldrà que es senyalitzi els diferents riscs que comporten l'exposició, manipulació o utilització dels diferents elements o equips que composen el banc d'assaig de motors tals com els dipòsits d'emmagatzematge de combustible, motor, acoblament fre – motor, etc. També caldrà senyalitzar les prohibicions o obligacions a complir per les persones que estiguin dins de la sala del banc d'assaigs, tals com la necessitat de portar protectors auditius.

4.2.3. Màquina de CC

Per tal de garantir la seguretat dels treballadors i una llarga vida útil de la màquina de CC, cal seguir les següents instruccions:

- No excedir la màxima velocitat de rotació permesa per la màquina de CC, sota cap circumstancia.
- Realitzar totes les connexions de seguretat entre el motor i el control d'aquest, per tal de que en cas de sobreescalfament de la màquia de CC, el control la pugui aturar automàticament .
- No excedir el parell màxim de rotació permès per la màquina de CC, sota cap circumstancia.
- Si la màquina de CC funciona a una altura superior a 100 m. Sobre el nivell del mar, les seves prestacions poden variar.
- La màquina de CC ha de treballar amb una temperatura ambient inferior a 40ºC.

4.2.4. Sensors de parell i velocitat

Per tal de garantir el bon funcionament i la vida d'aquests, cal seguir les següents instruccions:

- No superar el límit de transmissió de parell dels sensors.
- No superar el límit de gir dels sensors.
- Evitar cops i caigudes, ja que podrien provocar danys irreparables als sensors.
- Comprovar abans de cada assaig el parell d'apretament dels plats que van acoblats al sensor. El fabricant facilita una taula amb els parell d'apretament dels cargols segons el model.

TF Sensor Model	Fastening Screw Size	Screw Class	Fastening Torque [N·m]	
			Friction Coefficient μ = 0.10	Friction Coefficient μ = 0.14
TF 209	M6	8.8	9.0	11.3
TF 210				
TF 211	M6	10.9	13.2	16.5
TF 212				
TF 213	M10	10.9	63	79
TF 214				
TF 215	M12	10.9	108	137
TF 216	M14	12.9	201	255
TF 217	M16	12.9	309	395
TF 218	M30	10.9	1775	2274
TF 219				
TF 220	M30	10.9	1775	2274

Taula 4.2. Tipus de cargols i parell d'apretament segons el model de sensor de parell.

- Seguir l'ordre de muntatge dels cargols que facilita el fabricant, per assegurar una bon centratge dels sensors amb els plats d'acoblament.

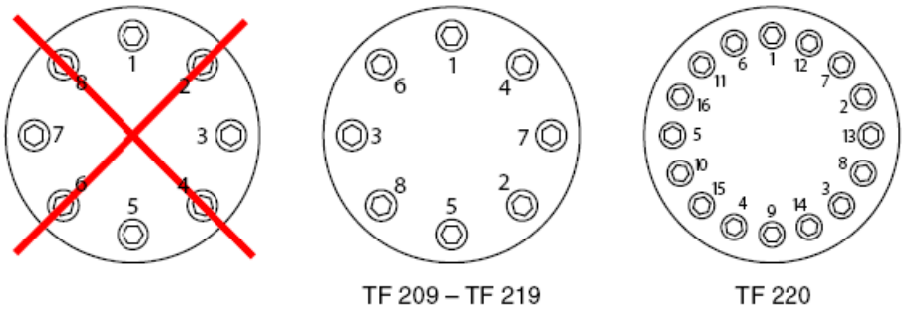


Figura 4.1. Seqüència de muntatge dels cargols dels sensors de parell MAGTROL tipus flat.

- Respectar les toleràncies de muntatge dels sensors amb els receptors. Com es pot observar en la següent figura:

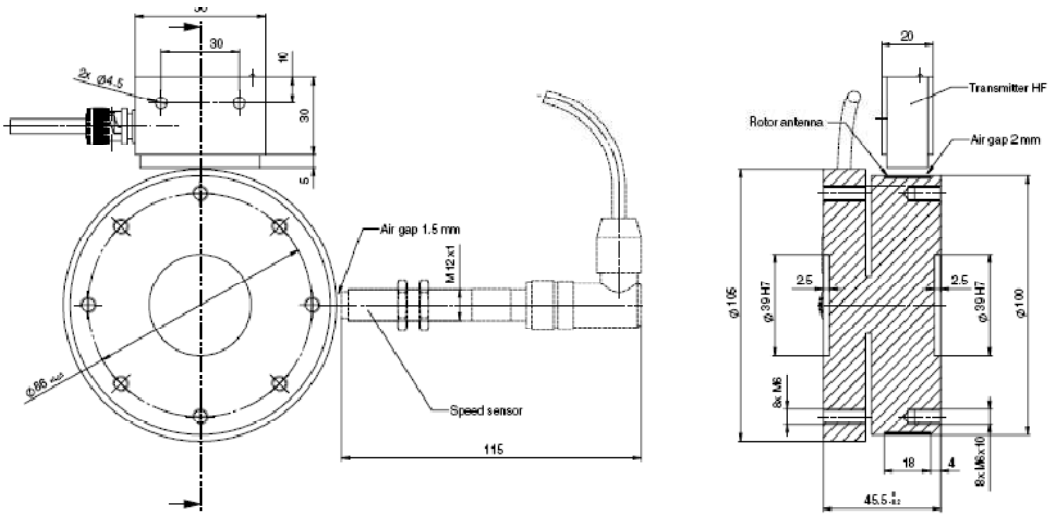


Figura 4.2. Toleràncies de muntatge del sensor MAGTROL TF 212.

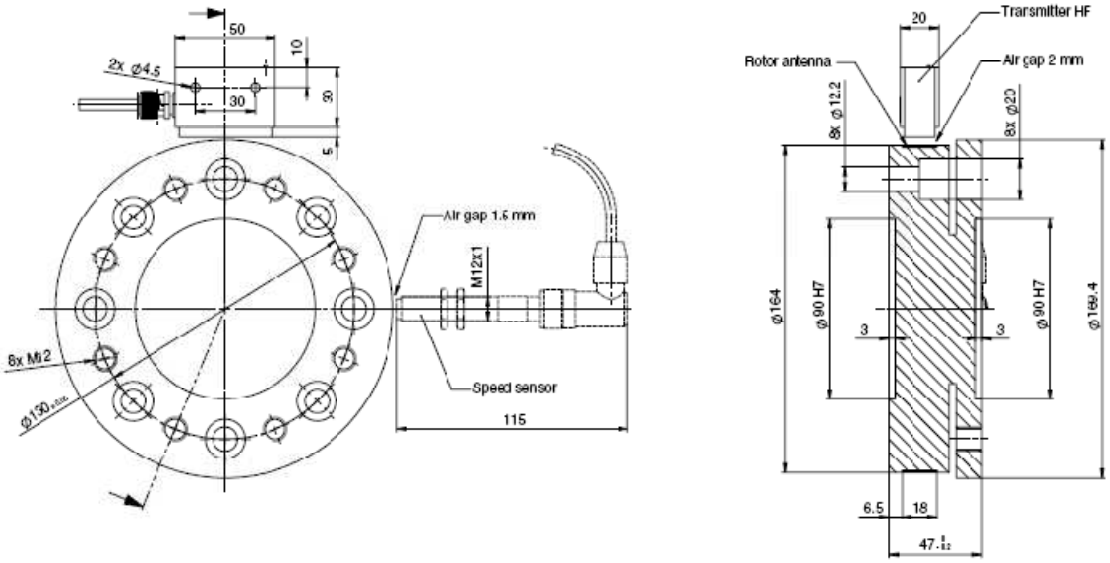


Figura 4.3. Toleràncies de muntatge del sensor MAGTROL TF 215.

4.2.5. Zona d'assaig

En la realització dels assaigs, es defineix la zona d'assaig delimitada exclusivament per aquest fet. En cap cas es podrà accedir a la zona d'assaig durant la realització del mateix.

4.3. Condicions de fabricació del banc d'assaig.

4.3.1. Fabricació

La fabricació del banc d'assaig es pot dividir en diverses parts.
La primera part, és la realització de l'estructura amb tub estructural. Aquests aniran soldats entre ells en tota la superfície de contacte, és a dir, el cordó de soldadura serà continu.
Per altra banda, s'ha de vigilar molt alhora de soldar-los, evitant realitzar cordons excessivament llargs, per evitar un sobreescalfament dels tubs a unir perquè poden provocar tensions molt elevades en la unió.
També s'ha de realitzar un muntatge per poder soldar l'estructura amb certa planitut, ja que les unions soldades no poden assegurar una bona planitud.

La segona part, es la realització de les unions de la xapa superior, destinada a collar les màquines, i de la xapa inferior del banc, destinada a rigiditzar l'estructura central.
Les unions d'aquestes xapes es realitzaran amb cordons de soldadura, però aquests cordons aniran intercalats amb zones sense soldar. La longitud dels cordons han de ser 300 mm i la longitud del tram sense soldar també serà de 300 mm.
En les zones extremes dels cordons de soldadura, s'ha de posar silicona per evitar l'aparició de l'òxid en aquests punts.

Per últim només queda el muntatge dels passamans que suportaran el pes del motor i les peces destinades a suportar i transmetre els esforços del banc als peus regulables.
Aquestes peces també aniran soldades en tot el seu contorn de contacte amb la resta de l'estructura.
Un cop realitzades les unions, s'ha d'aplicar una capa d'imprimació i dos capes de pintura, per evitar possibles oxidaments de parts de l'estructura.

4.4. Programa de manteniment.

S'ha de realitzar un programa de manteniment, per mantindre el sistema en condicions optimes.

Parts del banc d'assaig que necessiten verificació.

Verificacions	Hores de servei
Alineament del sistema de transmissió	En cada acoblament
Engrassament de les creuetes de la transmissió	50h
Control de l'estat del tacòmetre, neteja,etc.	200 h
Control del nivell de l'oli del reductor	200 h
Estat de les instal·lacions elèctriques	200 h
Nivells de vibracions	200 – 500h
Estat de les escombretes del motor	200 – 500h
Estat dels sensors de parell	200 – 500h
Estat dels cargols	50 h

Taula 4.3. programa de manteniment

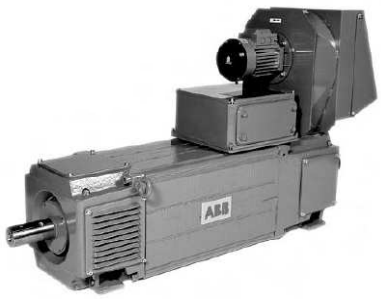
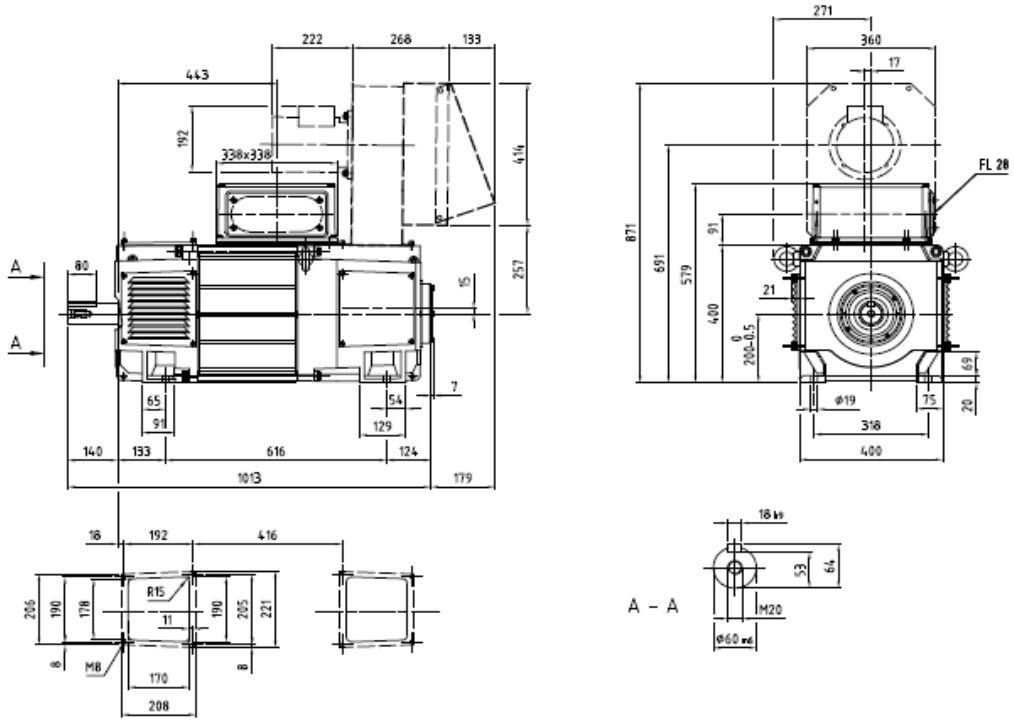
El programa es una part vital, per assegurar el bon funcionament del banc, i poder obtenir mesures fiables. També es molt important per poder observar les possibles anomalies del conjunt i evitar riscs innecessaris durant l'assaig.

4.5. Plec d'especificacions tècniques

En aquesta secció del plec de condicions s'estableixen les especificacions dels components que constitueixen el banc d'assaig dissenyat en el present projecte. S'ha elaborat un full d'especificacions dels següents elements:

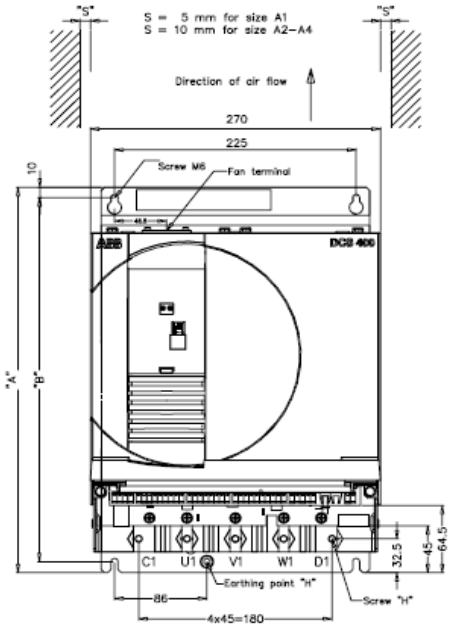
- Motor
- Electrónica de control del motor
- Filtre EMC
- Instrumentació de mesura
- Adquiridor de dades
- Accessoris del banc

4.5.1. Motor elèctric

Projecte: Disseny d'un banc d'assaigs de màquines i transmissions rotatives utilitzades en maquinària agrícola	**Nom:** Motor elèctric
Funció: Transformar l'energia elèctrica en mecànica o a l'inrevés.	
Marca comercial: ABB	**Model:** DMI 200 H (DU)
Dades Tècniques: - Tensió d'alimentació: 420 V CC - Intensitat nominal: 499 A - Potencia nominal: 194 kW - Velocitat màxima de funcionament: 2738 min^{-1} - Parell nominal: 677 Nm - Rendiment: 91,4 % - Pes: 500 kg	**Imatge:** 
Dimensions: 	

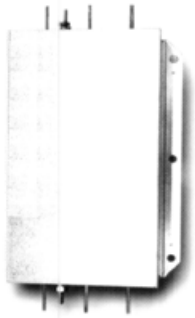
Taula 4.4. Full d'especificacions del motor ABB DMI 200H (DU).

4.5.2. Convertidor i control de 4 quadrants del motor elèctric.

Projecte: Disseny d'un banc d'assaigs de màquines i transmissions rotatives utilitzades en maquinària agrícola	**Nom:** Convertidor de CC
Funció: Rectificador de corrent elèctrica alterna i control del motor en els 4 quadrants.	
Marca comercial: ABB	**Model:** DCS402.0450
Dades Tècniques: - Tensió d'alimentació: 400 V CA (trifàsic) - Intensitat d'alimentació: 448 A (de la línia de CA) - Tensió de sortida: 420 V CC - Intensitat de sortida: 550 V (de la línia de CC) - Potencia nominal: 232 kW - Pes: 25 kg	**Imatge:** 
Dimensions:  "A" "B" "C" "D" "E" "F" "G" "H" Weight 459 437,5 262,5 310 147,5 205 252 M10 ca. 25kg	

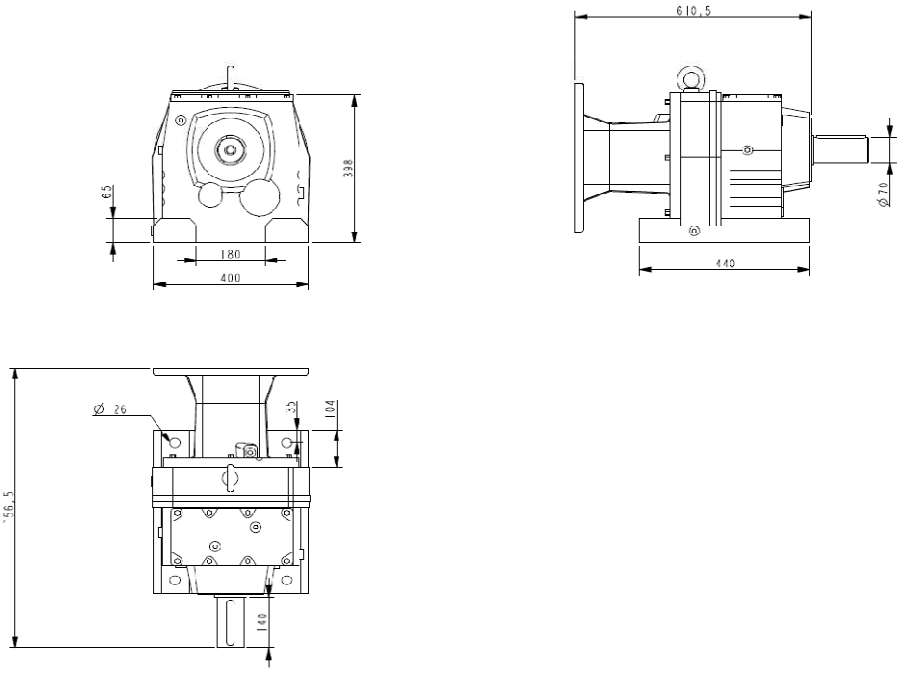
Taula 4.5. Full d'especificacions del convertidor i control de 4 quadrants ABB DCS 402.0450

4.5.3. Filtre EMC.

Projecte: Disseny d'un banc d'assaigs de màquines i transmissions rotatives utilitzades en maquinària agrícola	**Nom:** Filtre EMC
Funció: Filtrar la corrent elèctrica per evitar injectar a la xarxa corrents paràsites per control en 4 quadrants.	
Marca comercial: ABB	**Model: NF3-500-600**
Dades Tècniques: - Intensitat màxima admissible: 550 A	**Imatge:** 

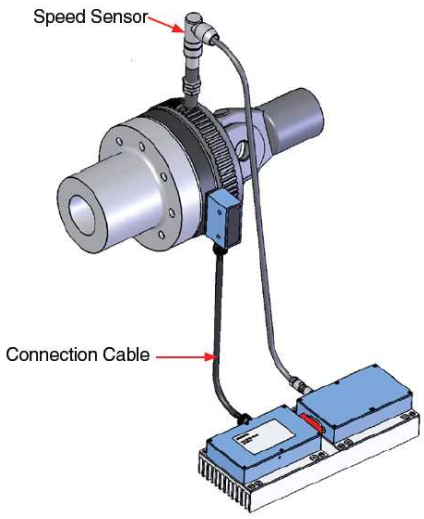
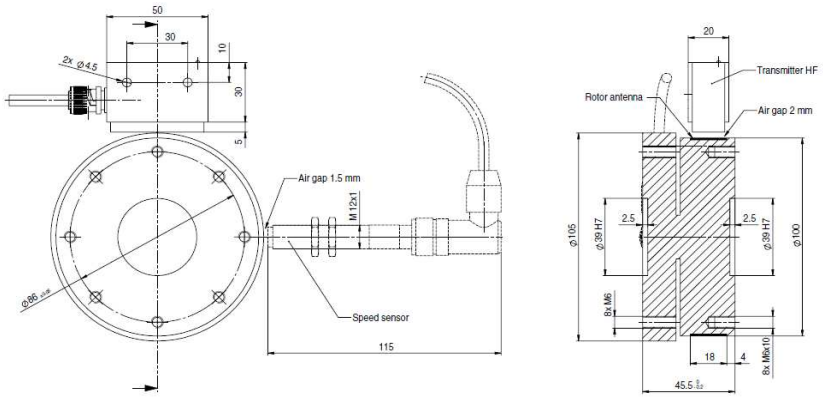
Taula 4.6. Full d'especificacions del filtre EMC, ABB NF3-500-600.

4.5.4. Reductor

Projecte: Disseny d'un banc d'assaigs de màquines i transmissions rotatives utilitzades en maquinària agrícola	**Nom:** Reductor
Funció: Realitzar una reducció de la velocitat angular de sortida del motor i a la vegada augmentar el parell transmès per aquest.	
Marca comercial: SEW eurodrive	**Model:** R107AM200
Dades Tècniques: • Tipus de reductor: coaxial • Relació de transmissió: 4,92 • Parell nominal de sortida: 2900 Nm • Velocitat angular màxima de sortida: 3000 min^{-1} • Potencia nominal del reductor: 55 kW • Pes: 190 kg	**Imatge:** 
Dimensions: 	

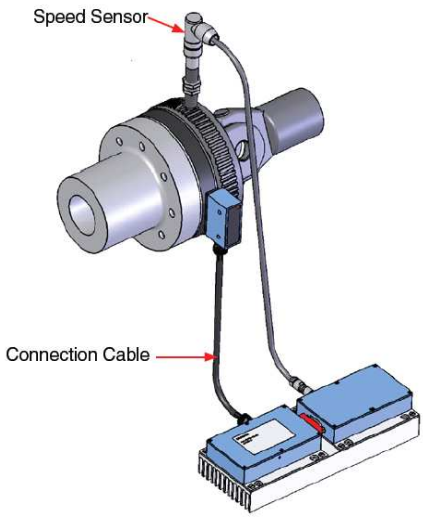
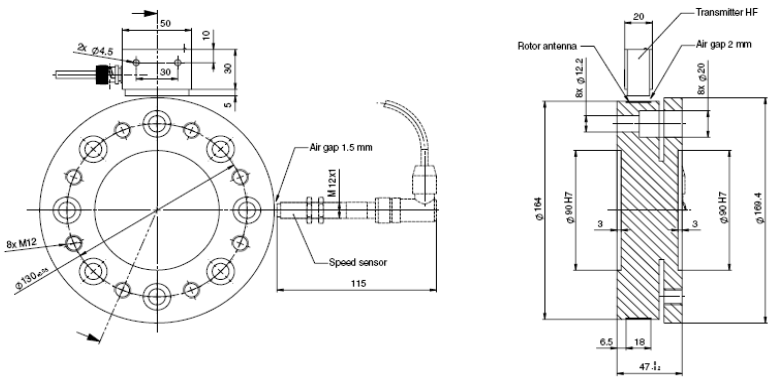
Taula 4.7. Full d'especificacions del reductor Sew-Eurodrive R107AM200.

4.5.5. Sensor de parell i velocitat angular MAGTROL TF 212

Projecte: Disseny d'un banc d'assaigs de màquines i transmissions rotatives utilitzades en maquinària agrícola	**Nom:** Sensor de parell dinàmic
Funció: Mesurar el parell aplicat en l'assaig i la velocitat angular de funcionament.	
Marca comercial: MAGTROL	**Model:** TF 212
Dades Tècniques: - Precisió: 0,1% - Capacitat de sobrecarrega: 200% - Límit de sobrecarrega: 400% del parell nominal - Influencia de la temperatura: ± 0,01 % del fons d'escala per cada ºC (/ºC) (± 0,1N/ºC) - Resistència a la tracció: 700N/mm^2 - Duresa: 25 HRC - Parell admissible: 200 Nm - Velocitat màxima: 14000 min^{-1} - Nº de dents: 70 - Duresa a la torsió: 2.05·10^5 N·m/rad - Deformació angular:0,056º - Pes: 2,2 kg - Moment d'inèrcia: 3,138·10^{-3} kg·m²	**Imatge:** 
Dimensions:  	

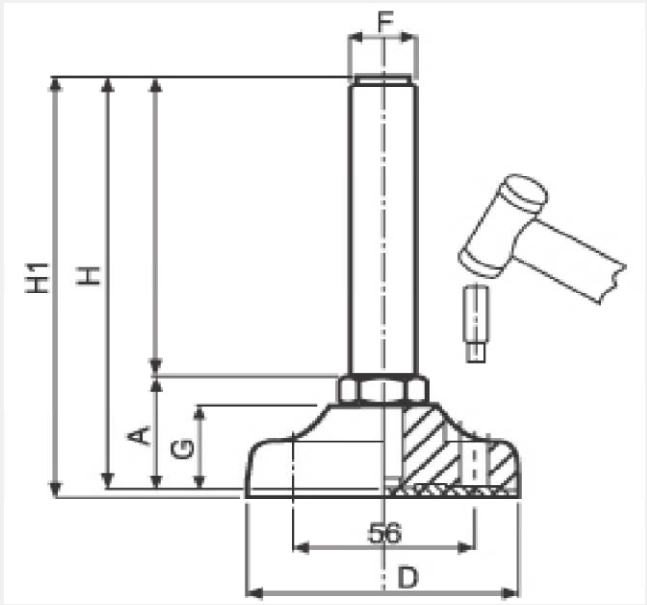
Taula 4.8. Full d'especificacions del sensor de parell MAGTROL TF 212.

4.5.6. Sensor de parell i velocitat angular MAGTROL TF 215

Projecte: Disseny d'un banc d'assaigs de màquines i transmissions rotatives utilitzades en maquinària agrícola	**Nom:** Sensor de parell dinàmic
Funció: Mesurar el parell aplicat en l'assaig i la velocitat angular de funcionament.	
Marca comercial: MAGTROL	**Model:** TF 215
Dades Tècniques: - Precisió: 0,1% - Capacitat de sobrecarrega: 200% - Límit de sobrecarrega: 400% del parell nominal - Influencia de la temperatura: ± 0,01 % del fons d'escala per cada ºC (/ºC) (± 0,1N/ºC) - Resistència a la tracció: 700 N/mm^2 - Duresa: 25 HRC - Parell admissible: 2000 Nm - Velocitat màxima: 8000 min^{-1} - Nº de dents: 113 - Duresa a la torsió: 2,86·10^6 N·m/rad - Deformació angular:0,040º - Pes: 5,2 kg - Moment d'inèrcia: 1,868·10^{-2} kg·m²	**Imatge:** 
Dimensions:  	

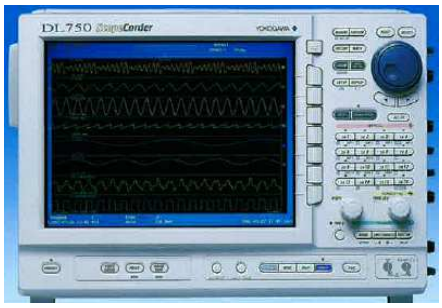
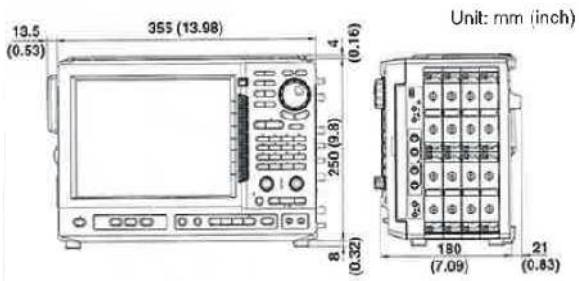
Taula 4.9. Full d'especificacions del sensor de parell MAGTROL TF 215.

4.5.7. Peus regulables.

Projecte: Disseny d'un banc d'assaigs de màquines i transmissions rotatives utilitzades en maquinària agrícola	**Nom:** Peus regulables
Funció: Suportar el pes del banc de proves i regular les possibles irregularitats del terreny	
Marca comercial: Egaña	**Model:** 12634
Dades Tècniques: Carrega màxima: 2500 kg Diàmetre de la rosca: M-14 x 100 Pes: 0,2 kg	**Imatge:** 
Dimensions:  - Diámetro D m/m 85 - Rosca F M-14 x 100 - H1 m/m 140 - H m/m 137 - G m/m 28 - B m/m 100 - A m/m 37	

Taula 4.10. Full d'especificacions del peu regulable Egaña 12634.

4.5.8. Equip d'adquisició de dades.

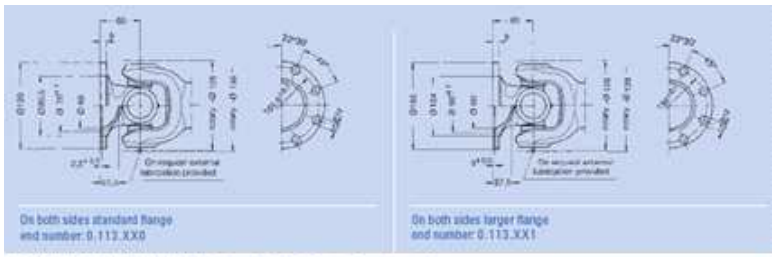
Projecte: Disseny d'un banc d'assaigs de màquines i transmissions rotatives utilitzades en maquinària agrícola	**Nom:** Equip d'adquisició de dades.
Funció: Adquirir les dades dels diferents sensors del banc	
Marca comercial: Yokogawa	**Model:** DL 750 SCOPE CORDER
Dades Tècniques: - Nombre de canals: 16 - Tipus de data loggers: • Voltatge • Temperatura • Acceleració • Esforços • Freqüència - Alimentació: 220 V CA o 12 V CC - Dimensions pantalla: 10,4 polsades - Velocitat de mostreig: 1kS/s a 10MS/s - Gravació de dades: • Disc dur de 40 Gb • Memòria USB • Targeta Compact Flash - Pes: 9 kg amb data loggers - Temperatura de funcionament: 5 a 40 ºC	**Imatge:** 
Dimensions: 	

Taula 4.11. Full d'especificacions de l'equip d'adquisició de dades Yokogawa DL 750 Scope Corder.

4.5.9. Arbre de transmissió elbe 0.113.100

Projecte: Disseny d'un banc d'assaigs de màquines i transmissions rotatives utilitzades en maquinària agrícola	**Nom:** Arbre de transmissió
Funció: Transmetre el parell i la velocitat angular	
Marca comercial: elbe original gelenke	**Model:** 0.113.100
Dades Tècniques: Parell nominal:4.100 Nm Parell límit: 5.350 Nm Diàmetre del plat: 120 mm Longitud: 491 mm Angle màxim de treball: 30º Nombre de forats del plat: 8 Pes: 13,66 kg	**Imatge:** 

Dimensions:



Universal Cardan Drive-Shafts with extension

α = Maximum angle of deflection per joint
J_m = Moment of inertia
G = Weight
L_{min} = Minimum length of tubular types
S_1 = Compressed lengths
S_2 = of short types
X_1 = Extension at S_{min} resp. S_1
X_2 = Extension at S_2
F_1 = Tube diameter. Dimensions in bold type for normal applications. Alternative dimensions are for long shafts at high speeds, see technical annex domain speed
F_2
F_3 = Alternative tube

additional spline protection on request

Please indicate requested length „S" and max. r.p.m. when ordering!		Tubular Type normal extension				Tubular Type larger extension				Short Type I		
Order number		0.113.100	0.113.101	0.113.102	0.113.105	0.113.110	0.113.111	0.113.112	0.113.115	0.113.130	0.113.131	0.113.132
Angle of deflection α	°	20	18	20	25	20	18	20	25	20	18	20
Flange-Ø	mm	120	150	Hub	120	120	150	Hub	120	120	150	Hub
S_{min} resp. S_1	mm	491	491	721	520	556	556	786	580	345	345	575
S_2	mm	–	–	–	–	–	–	–	–	275	275	605
X resp. X_1	mm	60	60	60	60	130	130	130	130	35	35	35
X_2	mm	–	–	–	–	–	–	–	–	50	50	50
F_1	mm	**70 x 4**	**70 x 4**	**70 x 4**	**70 x 4**	**70 x 4**	**70 x 4**	**70 x 4**	**70 x 4**	–	–	–
F_2	mm	80 x 4	80 x 4	80 x 4	80 x 4	80 x 4	80 x 4	80 x 4	80 x 4	–	–	–
F_3	mm	100 x 4	100 x 4	100 x 4	100 x 4	100 x 4	100 x 4	100 x 4	100 x 4	–	–	–
Spline dim. DIN 5480	mm	50x2x24	50x2x24	50x2x24	50x2x24	50x2x24	50x2x24	50x2x24	50x2x24	50x2x24	50x2x24	50x2x24
Number of flange holes		8	6	–	8	8	8	–	8	8	8	–

Taula 4.12. Full d'especificacions de l'arbre de transmissió elbe 0.113.100

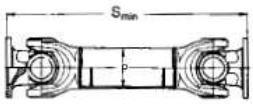
4.5.10. Arbre de transmissió elbe 0.117.201

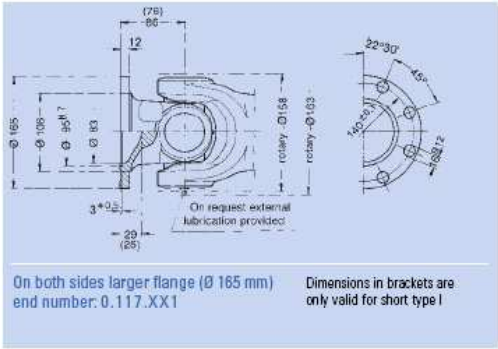
Projecte: Disseny d'un banc d'assaigs de màquines i transmissions rotatives utilitzades en maquinària agrícola	**Nom:** Arbre de transmissió
Funció: Transmetre el parell i la velocitat angular	
Marca comercial: elbe original gelenke	**Model:** 0.117.201
Dades Tècniques: Parell nominal:10.000 Nm Parell límit: 13.000 Nm Diàmetre del plat: 165 mm Longitud: 430 mm Angle màxim de treball: 30º Nombre de forats del plat: 8 Pes: 25,79 kg	**Imatge:** 

Dimensions:

ß = Maximum angle of deflection per joint
J_m = Moment of inertia
G = Weight
S_{min} = Minimum length of tubular types
S_1 = Compressed lengths
S_2 = of short types
X_1 = Extension at S_{min} resp. S_1
X_2 = Extension at S_2
P_1 = Tube diameter. Dimensions in bold type for normal applications. Alternative dimensions are for long shafts at high speeds, see technical annex domain speed
P_2, P_3 = Alternative tube

Cardan Drive-Shafts without extension

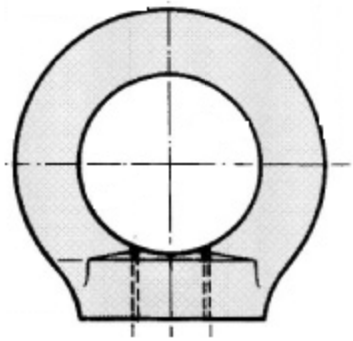




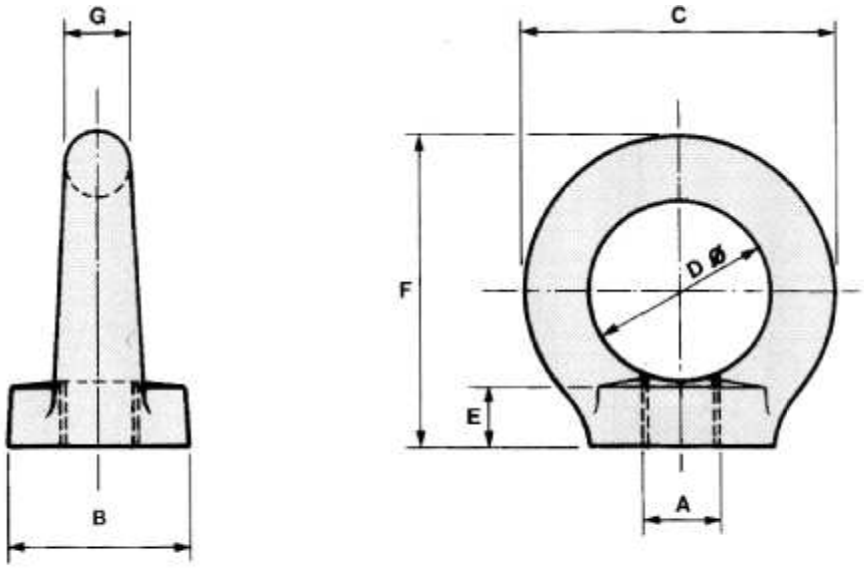
Please indicate requested length „S" and max. r.p.m. when ordering!		Tubular Type		
Order number		**0.117.200**	**0.117.201**	**0.117.201**
Angle of deflection ß	°	30	30	30
Flange-Ø	mm	150	165	180
S_{min} resp. S_1	mm	430	430	430
S_2	mm	–	–	–
X resp. X_1	mm	–	–	–
X_2	mm	–	–	–
P_1	mm	**100 x 5**	**100 x 5**	**100 x 5**
P_2	mm	120 x 5	120 x 5	120 x 5
P_3	mm	–	–	–
Spline dim. DIN 5480	mm	–	–	–
Number of flange holes		12	8	8

Taula 4.13. Full d'especificacions de l'arbre de transmissió elbe 0.117.201

4.5.11. Argolla

Projecte: Disseny d'un banc d'assaigs de màquines i transmissions rotatives utilitzades en maquinària agrícola	**Nom:** argolla
Funció: Suportar la massa del banc d'assaig,	
Marca comercial: BROOKS forgings	**Model: M14 segons DIN 582**
Dades Tècniques: Massa màxima a suportar: 490 kg Diàmetre exterior: 63 mm Pes argolla: 0,24 kg	**Imatge:** 

Dimensions:



A	B	C	D	E	F	G	SWL	Weight Each
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kgs	kgs
M14	35	63	35	13	62	14	490	0.24

Taula 4.14. Full d'especificacions de l'argolla BROOKS forgins M14 segons DIN 582.

5. ESTAT D'AMIDAMENTS

Índex de l'Estat d'amidaments

Index de taules

Relació de partides

L'estat d'amidaments s'ha dividit en quatre partides diferents:

- Partida 1: Components fre i motor
- Partida 2: Reductor i accessoris del banc
- Partida 3: Bancada
- Partida 4: Mà d'obra

La partida 1 fa referència als components principals del banc d'assaig, motor i components electrònics de regulació. La partida 2 inclou el reductor i tot el conjunt d'accessoris per al banc, des de cargols fins a l'arbre de transmissió. La partida 3 inclou tot el material necessari per la construcció de la bancada. Per finalitzar, s'afegeix la partida 4 que inclou la mà d'obra necessària per tal de realitzar el muntatge complert del banc d'assaig.

5.1. Estat d'amidaments per partides

5.1.1. Partida 1: Motor i components electrònics de regulació

Concepte	Unitat	Quantitat
Motor ABB DMI 200 H DU (amb eix xavetat de 55 mm)	ut.	1
Convertidor de CC de 4 quadrants ABB DCS 402.0550	ut.	1
Filtre DCS 402 EMC NF3-500-600	ut.	1

Taula 5.1. Estat d'amidaments de la Partida 1: Motor i components electrònics de regulació.

5.1.2. Partida 2: Reductor i accessoris del banc

Concepte	Unitat	Quantitat
Reductor Sew-eurodrive R107AM200	ut.	1
Potes Regulables Egaña 12634	ut.	10
Arbre de transmissió elbe 0.117.201	ut.	1
Arbre de transmissió elbe 0.113.100	ut.	1
Cargols M12 x 1,75 x 35	ut.	8
Cargols M12 x 1,75 x 40	ut.	16
Cargols M14 x 2 x 90	ut.	4
Cargols M24 x 3 x 180	ut.	2
Varilles roscades M16 x 2 x 75	ut.	4
Varilles roscades M20 x 2,5 x 130	ut.	2
Arandeles M12	ut.	40
Arandeles M14	ut.	24
Arandeles M16	ut.	4
Arandeles M20	ut.	4
Arandeles M24	ut.	4
Femelles M12	ut.	16
Femelles M14	ut.	20
Femelles M20	ut.	4
Femelles M24	ut.	2

Taula 5.2. Estat d'amidaments de la Partida 2: Reductor i accessoris del banc.

5.1.3. Partida 3: Bancada

Concepte	Unitat	Quantitat
Tub estructural quadrat 120 x 6 mm	m.	15,6
Tub estructural rectangular 80 x 120 x 6 mm	m.	1,7
Tub estructural quadrat 80 x 5 mm	m.	1
Xapa 1250 x 1950 x 15 mm	ut.	1
Xapa 400 x 1900 x 5 mm	ut.	1
Passamà 100 x 15 mm	m.	4
Passamà 80 x 25 mm	m.	0,4
Suport del reductor	ut.	2

Taula 5.3. Estat d'amidaments de la Partida 3: Bancada.

5.1.4. Partida 4 : Mà d'obra

Concepte	Unitat	Quantitat
Ma d'obra oficial 1ª	h.	30
Ma d'obra ajudant	h.	10

Taula 5.4. Estat d'amidaments de la Partida 4: Mà d'obra.

6. PRESSUPOST

Índex del Pressupost

Índex de taules

6.1. Preus unitaris

6.1.1. Partida 1: Motor i components electrònics de regulació

Concepte	Unitat	€/Unitat
Motor ABB DMI 200 H DU (amb eix xavetat de 55 mm)	ut.	12.720,00
Convertidor de CC de 4 quadrants ABB DCS 402.0550	ut.	6.015,00
Filtre DCS 402 EMC NF3-500-600	ut.	1.358,00

Taula 6.1. Preus unitaris de la Partida 1: Motor i components electrònics de regulació.

6.1.2. Partida 2: Reductor i accessoris del banc

Concepte	Unitat	€/Unitat
Reductor Sew-eurodrive R107AM200	ut.	2.700,90
Potes Regulables Egaña 12634	ut.	9,73
Arbre de transmissió elbe 0.117.201	ut.	208,94
Arbre de transmissió elbe 0.113.100	ut.	122,90
Cargols M12 x 1,75 x 35	ut.	0,26
Cargols M12 x 1,75 x 40	ut.	0,39
Cargols M14 x 2 x 90	ut.	0,75
Cargols M24 x 3 x 180	ut.	4,85
Varilles roscades M16 x 2 x 75	ut.	1,70
Varilles roscades M20 x 2,5 x 130	ut.	5,39
Arandeles M12	ut.	0,06
Arandeles M14	ut.	0,06
Arandeles M16	ut.	0,07
Arandeles M20	ut.	0,16
Arandeles M24	ut.	0,07
Femelles M12	ut.	0,04
Femelles M14	ut.	0,06
Femelles M20	ut.	0,14
Femelles M24	ut.	0,24

Taula 6.2. Preus unitaris de la Partida 2: reductor i accessoris del banc.

6.1.3. Partida 3: Bancada

Concepte	Unitat	€/Unitat
Tub estructural quadrat 120 x 6 mm	m.	99,98
Tub estructural rectangular 80 x 120 x 6 mm	m.	97,27
Tub estructural quadrat 80 x 5 mm	m.	46,13
Xapa 1250 x 1950 x 15 mm	ut.	258,71
Xapa 400 x 1900 x 5 mm	ut.	27,12
Passamà 100 x 15 mm	m.	10,71
Passamà 80 x 25 mm	m.	15,70
Suport del reductor	ut.	55,30

Taula 6.3. Preus unitaris de la Partida 3: Bancada.

6.1.4. Partida 4: Mà d'obra

Concepte	Unitat	€/Unitat
Ma d'obra oficial 1ª	h.	30,00
Ma d'obra ajudant	h.	20,00

Taula 6.4. Preus unitaris de la Partida 4: Mà d'obra.

6.2.Pressupost per partides

6.2.1. Partida 1: motor i components electrònics de regulació

Concepte	Quantitat	Unitat	€/Unitat	Import
Motor ABB DMI 200 H DU (amb eix xavetat de 55 mm)	1	ut.	12.720,00	12.720,00
Convertidor de CC de 4 quadrants ABB DCS 402.0550	1	ut.	6.015,00	6.015,00
Filtre DCS 402 EMC NF3-500-600	1	ut.	1.358,00	1.358,00
TOTAL PARTIDA 1 : MOTOR I COMPONENTS ELECTRONICS DE REGULACIÓ				**20.093,00**

Taula 6.5. Pressupost de la Partida 1: Motor i components electrònics de regulació.

6.2.2. Partida 2: Reductor i accessoris del banc

Concepte	Quantitat	Unitat	€/Unitat	Import
Reductor Sew-eurodrive R107AM200	1	ut.	2.700,90	2.700,90
Potes Regulables Egaña 12634	10	ut.	9,73	97,30
Arbre de transmissió elbe 0.117.201	1	ut.	208,94	208,94
Arbre de transmissió elbe 0.113.100	1	ut.	122,90	122,90
Cargols M12 x 1,75 x 35	8	ut.	0,26	2,08
Cargols M12 x 1,75 x 40	16	ut.	0,39	6,24
Cargols M14 x 2 x 90	4	ut.	0,75	3,00
Cargols M24 x 3 x 180	2	ut.	4,85	9,70
Varilles roscades M16 x 2 x 75	4	ut.	1,7	6,80
Varilles roscades M20 x 2,5 x 130	2	ut.	5,39	10,77
Arandeles M12	40	ut.	0,06	2,40
Arandeles M14	24	ut.	0,06	1,44
Arandeles M16	4	ut.	0,07	0,28
Arandeles M20	4	ut.	0,16	0,64
Arandeles M24	4	ut.	0,07	0,28
Femelles M12	16	ut.	0,04	0,64
Femelles M14	20	ut.	0,06	1,2
Femelles M20	4	ut.	0,14	0,56
Femelles M24	2	ut.	0,24	0,48
TOTAL PARTIDA 2 : REDUCTOR I ACCESORIS DEL BANC				**3.176,55**

Taula 6.6. Pressupost de la Partida 2: Reductor i accessoris del banc.

6.2.3. Partida 3: Bancada

Concepte	Quantitat	Unitat	€/Unitat	Import
Tub estructural quadrat 120 x 6 mm	15,6	m.	99,98	1.559,69
Tub estructural rectangular 80 x 120 x 6 mm	1,7	m.	97,27	165,36
Tub estructural quadrat 80 x 5 mm	1	m.	46,13	46,13
Xapa 1250 x 1950 x 15 mm	1	ut.	258,71	258,71
Xapa 400 x 1900 x 5 mm	1	ut.	27,12	27,12
Passamà 100 x 15 mm	4	m.	10,71	42,84
Passamà 80 x 25 mm	0,4	m.	15,70	6,28
Suport del reductor	2	ut.	55,30	110,6
TOTAL PARTIDA 3 : BANCADA				**2.216,73**

Taula 6.7. Pressupost de la Partida 3: Bancada.

6.2.4. Partida 4: Mà d'obra

Concepte	Quantitat	Unitat	€/Unitat	Import
Ma d'obra oficial 1ª	30	h.	30,00	900,00
Ma d'obra ajudant	10	h.	20,00	200,00
TOTAL PARTIDA 4 : MÀ D'OBRA				**1.100,00**

Taula 6.8. Pressupost de la Partida 4: Mà d'obra.

6.2.5. Resum del pressupost per partides

Concepte	Import
Partida 1 : Motor i components electrònics de regulació	20.093,00
Partida 2 : Reductor i accessoris del banc	3.176,55
Partida 3 : Bancada	2.216,73
Partida 4 : Mà d'obra	1.100,00
TOTAL PARTIDES	**26.586,28**

Taula 6.9. Resum del pressupost per partides.

6.3.Pressupost general

	Import (€)
TOTAL PARTIDES	26.586,28
6% Benefici Industrial	1595,18
TOTAL BASE IMPOSABLE	28.181,46
16% IVA	4509,03
PRESSUPOST GENERAL	**32.690,49**

Taula 6.10. Pressupost general del projecte.

El pressupost general del banc d'assaig de màquines i transmissions rotatives utilitzades en maquinaria agrícola és de **TRENTA – DOS MIL SIS - CENTS NORANTA EUROS AMB QUARANTA - NOU CÈNTIMS.**